



UNIVERSIDAD DE SEVILLA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA

Departamento de Mecánica de Medios Continuos e Ingeniería del terreno.



TÍTULO: “ANÁLISIS Y METODOLOGÍA DE INTERVENCIÓN EN ESTRUCTURAS SOMETIDAS A PROCESOS CORROSIVOS”.

Tesis Presentada por:

JAVIER CASTILLO PÉREZ

Dirigida por:

D. JUAN SAURA MARTÍNEZ

D. JOSÉ IGNACIO PÉREZ CALERO

Sevilla 2014/2015



UNIVERSIDAD DE SEVILLA.

ETS. ARQUITECTURA

DEP. MECANICA DE MEDIOS CONTINUOS E INGENIERIA DEL TERRENO.

TESIS DOCTORAL: “ANÁLISIS Y METODOLOGÍA DE INTERVENCIÓN EN ESTRUCTURAS SOMETIDAS A PROCESOS CORROSIVOS”.

DIRECTOR TESIS: JOSE IGNACIO PÉREZ CALERO.

CODIRECTOR TESIS: JUAN SAURA MARTINEZ

AUTOR: JAVIER CASTILLO PÉREZ.



PREFACIO

La realización de este trabajo se gestó hace cinco años. Tras trabajar en la rehabilitación del Castillo de San Sebastián me quedé ensimismado con los efectos que la corrosión puede ocasionar en las estructuras ubicadas en zonas muy expuestas a los efectos del ambiente marino.

En las numerosas visitas que he realizado a Cádiz y sus alrededores he podido comprobar como las edificaciones de su Casco histórico muy expuestas al viento, sufren gran cantidad de patologías asociadas a la corrosión (es muy habitual observar grietas longitudinales en los balcones volados de las edificaciones que dan al Campo del Sur). Desde entonces me planteé la posibilidad de que esas rehabilitaciones que se efectúan muy a menudo en estas edificaciones pudieran ser efectivas, con lo que se inició un trabajo de investigación sobre las causas de estas patologías que derivó en el DEA que presente hace unos años atrás y que concluye con este segundo capítulo por llamarlo de alguna manera, en que se profundiza aún más en el estudio de las causas y consecuencias de las patologías de corrosión que actualmente sufren multitud de estructuras y las posibilidades actuales de minimizarlas o eliminarlas sin recurrir a la demolición parcial del propio edificio y sin asumir un coste desorbitado en su rehabilitación.



AGRADECIMIENTOS

En estos años que han transcurrido desde la terminación y lectura de mi trabajo de investigación hasta la realización del proyecto de tesis y lectura del mismo, he de reconocer que ha habido multitud de momentos en los que he pensado abandonar. Para mí ha sido bastante complicado compaginar el trabajo diario, fuera del ámbito Universitario, con la elaboración de una tesis doctoral.

Aun así, si he conseguido realizar la misma, ha sido gracias al apoyo constante tanto de mis directores de tesis como de mis padres. Han sido innumerables ocasiones en las que, tanto Juan como José Ignacio, me han llamado para ver en qué punto se encontraba mi tesis e intentar darme un empujoncito para que poco a poco fuera acabándola.

Por todo ello quiero dedicarles a ellos esta tesis.



RESUMEN

Este trabajo de investigación pretende analizar el comportamiento de las estructuras sometidas a procesos corrosivos y adquirir un conocimiento más profundo acerca de los diferentes ataques por corrosión que pueden padecer las estructuras en función de una serie de parámetros variables, que condicionan la vida útil de estas ante estos procesos corrosivos. Asimismo analizaremos las diferentes pautas de actuación en la rehabilitación de estas estructuras así como estableceremos una discusión apoyándonos en casos reales y la valoración de los mismos de la conveniencia de usar unas u otras alternativas de reparación en estas estructuras. Finalmente implementaremos una pauta de actuación en el caso de encontrarnos con un elemento con esta patología.



ABSTRACT

This Thesis aims to analyse the behaviour of structures subjected to corrosive processes and gain a deeper understanding about the different attacks that can suffer Corrosion structures depending on a number of variable parameters which determine the lifespan of these before these corrosive processes. Also we analyse the different patterns of activity in the rehabilitation of these structures and establish an argument relying on real cases and evaluate them for the convenience of using one or another alternative repair these structures. Finally we implement a pattern of action in the case of encountering an item with this disease.

**ÍNDICE**

CAPITULO 1	INTRODUCCIÓN.....	17
1.1	ASPECTOS GENERALES.....	17
1.2	OBJETIVOS	21
1.3	METODOLOGÍA DE ESTUDIO.....	21
1.4	GRADO DE INNOVACIÓN	22
1.5	PLAN DE TRABAJO	22
CAPITULO 2	ESTADO DEL ARTE	23
2.1	INTRODUCCIÓN AL PROCESO CORROSIVO.....	23
2.1.1	Definición.....	23
2.1.2	Tipo de Corrosión.	25
2.1.3	La corrosión en estructuras de hormigón armado.	31
2.1.4	La Corrosión en otros tipos de materiales.	36
2.2	FACTORES QUE INFLUYEN EN EL PROCESO CORROSIVO.....	38
2.2.1	Condicionantes ambientales/atmosféricos.	38
2.2.2	Composición de materiales.	52
2.2.3	Otros factores.	65
2.2.4	Acción conjunta	67
2.3	SINTOMATOLOGIA Y PATOLOGÍAS ASOCIADAS.	70
2.4	ANÁLISIS Y DETECCIÓN.....	72
2.5	TRATAMIENTO PALIATIVO.....	75
2.5.1	Protección catódica.[38].....	76
2.5.2	Otros procesos.....	85
2.6	REPARACIÓN Y REFUERZO DE ESTRUCTURAS DAÑADAS.	92
2.6.1	Reparación por parcheo.	92
2.6.2	Refuerzo estructural mediante composites.	98
2.7	MEDIDAS DE PREVENCIÓN.	109
CAPITULO 3	FASE EXPERIMENTAL / INVESTIGACIÓN ESTUDIO CORROSIÓN	111
3.1	INTRODUCCIÓN A LAS ESTRUCTURAS SELECCIONADAS	111
3.1.1	TORRE DE VIGILANCIA CASTILLO DE SAN SEBASTIAN (CÁDIZ)	112
3.1.2	VILLA EL CASTILLITO. SANLUCAR DE BARRAMEDA (CÁDIZ)	133
3.1.3	CANAL DE CALZAS ANCHAS (UTRERA).	142
3.2	ANÁLISIS TEÓRICO DE RESULTADOS	149
3.3	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS.....	159
3.4	ANÁLISIS DE LAS SOLUCIONES PROYECTADAS EN LOS DIFERENTES CASOS A ESTUDIO.....	190
3.5	DISCUSIÓN SOBRE LAS SOLUCIONES ADOPTADAS Y ALTERNATIVAS	208
CAPITULO 4	CONCLUSIONES	220
CAPITULO 5	FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACIÓN.	224
CAPITULO 6	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	227
CAPITULO 7	ANEJOS	238



INDICE DE FIGURAS

Fig. 1.1. Corrosión en pieza de Hormigón armado (elaboración propia. Isla de las Palomas. Tarifa 2015)	18
Fig. 1.2. Corrosión activa en estructura de hormigón armado (Elaboración propia. Castillo San Sebastián. Cádiz) .	18
Fig. 1.3. Silver Bridge (1928) (https://en.wikipedia.org/wiki/Silver_Bridge)	18
Fig. 1.4. Silver Bridge Tras el colapso 1967)-(http://35wbridge.pbworks.com/w/page/900751/)	19
Fig. 1.5. Silver Bridge después del colapso (1967) (https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/2d/Silver_Bridge_collapsed%2C_Ohio_side.jpg)	18
Fig. 1.6 Silver Bridge Tras el Colapso (1967)-(http://www.wvculture.org/history/thisdayinwvhistory/1215.jpg) ..	19
Fig. 1.7. Centro Pompidou Exterior. Paris (1977) (https://www.flickr.com/photos/campobaeza/8125299099/)	19
Fig. 1.8. Centro Pompidou Interior. Paris (1977) (http://www.hormiga.org/fondosescritorio/wallpapers/Arte-y-Artistas/paris-centro-pompidu/NV-PF-332-Centre-Pompidou.jpg)	19
Fig. 1.9. (http://aceroinox.net/?p=364 15/03/2013 18:42h) (Artículo Web Acerinox 18/octubre/2011) [3]	20
Fig. 2.1: Proceso de corrosión de un metal .(http://www.teleingeniero.com/?p=210)	23
Fig. 2.2: Representación pila galvánica (http://www.larapedia.com/elettrochimica/elettrochimica.html). [7]	24
Fig. 2.3. Tipología de la corrosión de la armadura en el hormigón armado (ANDRADE, C., ALONSO, C. SARRIÁ, J. y CASTELLOTE, M. (1998). Conceptos básicos sobre corrosión de armaduras) [8]	25
Fig. 2.4: Pitting/ ataque por picadura. (http://www.merus.es/in-general/pitting) [10]	27
Fig. 2.5: Efectos corrosión ion Cloruro. (http://jdmoreno3.blogspot.com.es/2013/10/carbonatacion-versus-ataque-por-ion.html%20 .) [11]	27
Fig. 2.6: Corrosión bajo tensión. [12]. (http://www.indura.cl/_file/file_1774_manualdeacerosinoxidables%20indura.pdf .)	28
Fig. 2.7: Fallo por corrosión bajo tensión de un tanque de amoniaco anhidro. (Packer Engineering Inc. IL, USA) (http://www.analisisdefractura.com/corrosion_tension.htm)	28
Fig. 2.8: Corrosión por fatiga. Fisura por fatiga perpendicular a la superficie, en la cara exterior de un tubo de cobre. [13] (http://www.cimsaww.com/internet/es/cupropedia/la_corrosi_n/corrosi_n_por_fatiga/CORROSIÓN_por_fatiga_1.jsp .)	29
Fig. 2.9. Corrosión acero (Elaboración propia) [14] (http://www.lamigal.com/metal-acero-corrosion/metal-corrosion-galvanizado.html)	30
Fig. 2.10. Formación de una pila electroquímica [15]	30
Fig. 2.11: Diagrama de Pourbaix para el acero en contacto con el agua a 25°C [16]	31
Fig. 2.12 Izquierda.: representación armadura corroída en estructura de Hormigón armado (https://rbconspro.files.wordpress.com/2009/06/steel1.jpg) [17]	32
Fig. 2.13. Rotura recubrimiento por corrosión de armadura. [17] (http://quimilock.es/corrosion/muestra_doc_nivel1.pHp@iddoc=59&categoria=1.htm)	32
Fig. 2.14 Corrosión en armadura (Elaboración propia. Castillo San Sebastián Cádiz) 2012	32
Fig. 2.15. Proceso de corrosión en estructura de hormigón armado. (http://image.slidesharecdn.com/2proteccioncatodica-120101183041-pHpapp02/95/proteccion-catodica-en-estructuras-de-hormign-armado-2-728.jpg?cb=1325443706)	33
Fig. 2.16. Red de poros debida a un exceso de agua de amasado (Elaboración propia)	33



Fig. 2.17. Estado pasivo y activo de armadura.	34
Fig. 2.18. Esquema de Micropila/Macropila (Elaboración Propia).	35
Fig. 2.19 .Muestras de diferentes materiales refractarios corroídos después de 120h a 1400°C en un vidrio sodocálcico. [20].	36
Fig. 2.20. Contenido de humedad en los poros dependiendo de la humedad ambiental. (Elaboración propia)	38
Fig. 2.21. Clasificación zonas de influencia de la corrosión.(http://www.monografias.com/trabajos72/tecnologia-hormigón/tecnologia-hormigón.shtml)	41
Fig. 2.22. Riesgo de corrosión (Elaboración propia)	43
Fig. 2.23 : Penetración de cloruros.	43
Fig. 2.24: Corrosión por penetración de cloruros marinos. (Elaboración propia) (Castillo de San Sebastián. Cádiz) ..	44
Fig. 2.25: Estado del ion cloruro dentro del hormigón (Elaboración propia)	45
Fig. 2.26: Mecanismo ataque por cloruros. (http://civilgeeks.com/2011/12/11/durabilidad-del-hormigón/)	45
Fig. 2.27: Corrosión electrolítica del refuerzo en hormigón expuesto a cloruros y humedad. (http://civilgeeks.com/2011/12/11/durabilidad-del-hormigón/)	46
Fig. 2.28: Etapas de hidratación de una partícula de cemento polimérico. [23] http://www.scielo.gpeari.mctes.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0870-83122009000200006&lng=pt&nrm=iso	48
Fig. 2.29. Esquema simplificado del proceso de corrosión del acero en presencia de cloruros, propuesto por CEB – FIP (Comité Europeen du Beton (CEB), 1990). (Elaboración propia)	49
Fig. 2.30. Perfil de penetraciones de iones cloruro, identificando la posición del umbral crítico. [25]. http://www.icpa.ar/publico/files/rev27ion.pdf	50
Fig. 2.31.: Cristal originado por sulfato a través del microscopio electrónico. [26]. AFAM. Morteros de Revestimiento 2006 Madrid	51
Fig. 2.32.: Ettringita relleno un poro / Ettringita rompiendo un árido (http://www.monografias.com/trabajos72/tecnologia-hormigón/tecnologia-hormigón2.shtml)	52
Fig. 2.33: Velocidad de desprendimiento de calor (J/sKg) en los 3 primeros días de hidratación del cemento. [G.C.Bye 1983]	54
Fig. 2.34. Proceso de Carbonatación	55
Fig. 2.35. Carbonatación del recubrimiento de hormigón. [15]. (Sánchez de Rojas Noguera, María José, 2004)	56
Fig. 2.36 Formación grietas consecuencia Carbonatación hormigón.	57
Fig. 2.37 Extracción de testigos de hormigón con carbonatación. Songea (Estudio El Castillito Sanlúcar de Barrameda, Cádiz.2014)	58
Fig. 2.38 Catas para determinar el estado de carbonatación de una Losa de Cimentación. (Estudio Vorsevi para Canal Calzas Anchas. Utrera.2014).	58
Fig. 2.39 Modelo simplificado del tiempo de avance Corrosión Carbonatación	59
Fig. 2.40 Avance de la corrosión en función del tiempo	60
Fig. 2.41: Periodo de incubación y propagación. [30]. http://www.icpa.org.ar/publico/files/rev25durabest.pdf .	61
Fig. 2.42: Influencia contenido cemento en profundidad de carbonatación. [22]. (Alaejos Gutiérrez, M ^a del Pilar. Bermúdez Odriozola, Miguel Ángel (2008).)	63
Fig. 2.43: Influencia de la relación a/c en la velocidad de carbonatación. [22].(Alaejos Gutiérrez, M ^a del Pilar. Bermúdez Odriozola, Miguel Ángel (2008).)	63



Fig.2.44: Influencia humedad relativa en profundidad de carbonatación. [22].(Alaejos Gutiérrez, M^a del Pilar. Bermúdez Odriozola, Miguel Ángel (2008).	63
Fig. 2.45: Saltado del recubrimiento debido a corrosión generalizada por carbonatación. (Villa El Castillito. Sanlúcar de Barrameda, Cádiz).Elaboración propia	64
Fig. 2.46: Corrosión por fisuras transversales. [15]. Sánchez de Rojas Noguera, María José, 2004	65
Fig. 2.47: Macropila en hormigón armado	66
Fig. 2.48 Esquema del contenido crítico de cloruros en función de la humedad ambiente, la calidad del hormigón y su posible carbonatación. [28](Schiessl).	67
Fig. 2.49 Modelo de vida útil de Tuutti 1980. http://faq.altoqi.com.br/content/277/680/pt-br/vida-%C3%BAtil-das-estruturas-de-hormigón.html	68
Fig. 2.50. Productos de Corrosión. (https://es.wikipedia.org/wiki/Corrosi%C3%B3n)	70
Fig. 2.51. Medición de resistividad con sondas de Wenner. [36]. http://www.hcc-es.com/archivos/BOLETIN%20TECNICO%2004-%20Proteccion%20catodica.pdf.	73
Fig. 2.52. Medición del potencial eléctrico. [36]. http://www.hcc-es.com/archivos/BOLETIN%20TECNICO%2004-%20Proteccion%20catodica.pdf.	74
Fig. 2.53. Diagrama Pourbaix, indicador de pasividad en el metal. (http://jdmoreno3.blogspot.com.es/2013/11/pasivacion-de-las-armaduras.html).	76
Fig. 2.54 Esquema de protección catódica por ánodo de sacrificio. Elaboración propia	79
Fig. 2.55 Ánodos de sacrificio de un termo.(http://linea-blanca.yoreparo.com/calentadores_agua/694964.html)	80
Fig. 2.56 Ánodo de Sacrificio en casco de un barco. https://en.wikipedia.org/wiki/File:Sacrificial_anode.jpg	80
Fig. 2.57 Esquema de protección catódica por ánodo de sacrificio.....	80
Fig. 2.58 Protección catódica por ánodo de sacrificio.....	81
Fig.2.59. Protección catódica por corriente impresa. Potenciales de protección entre -850 y -1200 mV.....	82
Fig. 2.60. Esquema general de una protección catódica por corriente impresa.....	83
Fig. 2.61. Protección catódica por corriente impresa.	83
Fig. 2.62. Ánodos de Titanio	83
Fig. 2.63. Monitorización	83
Fig. 2.64. Esquema de funcionamiento de la técnica de realcanización electroquímica. (http://materconstrucc.revistas.csic.es/index.pHp/materconstrucc/article/viewFile/522/570)	87
Fig. 2.65. Esquema de funcionamiento de la técnica de realcanización electroquímica.	89
Fig. 2.66. Ejemplo de niveles de riesgo de corrosión en función del aditivo empleado.	91
Fig. 2.67. Esquema de aplicación de inhibidores de corrosión en forma de gel [41]	91
Fig. 2.68. Aplicación de inhibidores de corrosión pulverizado [43]	91
Fig. 2.69. Esquema de aplicación de inhibidores de corrosión en forma de gel [41]	92
Fig. 2.70 M Fernández Cánovas en su libro Patología y terapéutica del hormigón armado señala los pasos a seguir para reparar una estructura afectada por patologías de corrosión. [46].....	93
Fig. 2.71: Chorreado superficial de estructuras. (Estudio Ayesa sobre patologías en Torre Mirador Castillo San Sebastián Cádiz. 2008).	94
Fig. 2.72: Inyección grietas. (Estudio Ayesa sobre patologías en Torre Mirador Castillo San Sebastián Cádiz. 2008).	94



Fig. 2.73: Picado de paramentos. (Estudio Ayesa sobre patologías en Torre Mirador Castillo San Sebastián Cádiz. 2008).	95
Fig. 2.74: Aplicación de pasivador en la armadura. www.quimilock.es)	96
Fig. 2.75: Tipos de materiales compuestos. (http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?pid=S0870-83122009000200003&script=sci_arttext)	98
Fig. 2.76: Tipos de composites fibrosos. (http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?pid=S0870-83122009000200003&script=sci_arttext)	99
Fig. 2.77 Fibra de Carbono vista al microscopio. (http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fibra_de_carbono_vista_con_una_lupa.)	101
Fig. 2.78 Muestras cedidas por la empresa DRIZORO sobre las aplicaciones de fibra de Carbono en la rehabilitación estructural. Elaboración propia	102
Fig. 2.79. Malla Kevlar 1x1.(www.clickcarbono.com)	103
Fig. 2.80: Malla Fibra de Vidrio. (www.redefibra.com)	104
Fig. 2.81. Armadura de fibra de vidrio. Muestras cedidas por rthpultusystems. Redondos técnicos homologados. Elaboración propia	106
Fig. 2.82. Detalle de armadura de fibra de vidrio. (http://www.rthpultusystems.com/)	107
Fig. 2.83. Características de este tipo de armaduras de fibra de vidrio. (http://www.rthpultusystems.com/)	107
Fig. 3.1. Esquema de situación del Casillo de San Sebastián en Cádiz. (http://www2.uca.es/orgobierno/rector/Cádiz%20ciudad%20fortificada/Planos%20de%20situacion/slides/Cádiz%20interior.html)	112
Fig. 3.2. Plano de situación del Casillo de San Sebastián en Cádiz. Planos cedidos por Tragsatec Sevilla.	113
Fig. 3.3 .Foto aérea del Casillo de San Sebastián en Cádiz. Fotos cedidas por la empresa Tragsa 2008,	113
Fig. 3.5. Alzado Este de la edificación (frontal). Elaboración propia	115
Fig. 3.6. Alzado Oeste de la edificación (posterior). Elaboración propia	115
Fig. 3.7. Fachada principal de la Torre. Elaboración propia	116
Fig. 3.8. Fachada posterior de la Torre. Elaboración propia	116
Fig. 3.9. Plantas Estado actual de la Torre. Planos cedidos por Tragsatec Sevilla 2008.	117
Fig. 3.10. Esquema 3d de la Torre. Planos cedidos por Tragsatec Sevilla 2008.	118
Fig. 3.11. Planta anteproyecto Torre. Planos cedidos por el Archivo Militar.	119
Fig. 3.12. Alzados anteproyecto Torre. Planos cedidos por el Archivo Militar.	120
Fig. 3.13. Sección transversal anteproyecto Torre y Polvorín. Planos cedidos por el Archivo Militar	120
Fig. 3.14. Sección longitudinal anteproyecto Torre y Polvorín. Planos cedidos por el Archivo Militar	120
Fig. 3.15. Cata cimentación Torre (pilar).Elaboración propia	121
Fig. 3.16. Cata cimentación Torre (riostra).Elaboración propia	121
Fig. 3.17 Temperaturas medias mensuales y precipitaciones totales mensuales periodo (1870-2000) Cádiz	123
Fig. 3.18: Temperaturas medias y extremas Cádiz.	123
Fig.3.19: Días de lluvia por meses San Fernando (Cádiz)	124
Fig.3.20 : Precipitación mensual total San Fernando (Cádiz)	124
Fig. 3.21: Rosa de los vientos frecuencias mensuales. Cádiz	125



Fig. 3.22: Rosa de los vientos frecuencias medias. Cádiz.....	125
Fig. 3.23: Rosa de los vientos Velocidades medias. Cádiz.....	126
Fig.3.24: Esquema dirección de vientos sobre el edificio a estudiar. Elaboración propia	126
Fig 3.25. Fachada de Levante. Elaboración propia	127
Fig. 3.26. Fachada de poniente. Elaboración propia.....	127
Fig. 3.27. Estado armadura fachada levante Torre mirador. Elaboración propia	128
Fig. 3.28. Estado armadura fachada poniente. Elaboración propia	128
Fig. 3.29. Toma de muestras de acero para análisis Castillo San Sebastián (Cádiz). Fotos cedidas por Geocisa.	130
Fig. 3.30 Ensayos para velocidad ultrasonidos Castillo San Sebastián Cádiz. Fotos cedidas por Geocisa.	131
Fig.3.31 Maquina extracción testigos H.A. Geocisa.....	131
Fig.3.32: Testigo H.A. Torre mirador Castillo San Sebastián Cádiz. Geocisa.....	132
Fig. 3.33. Esquema de situación de la Villa El Castillito. Sanlúcar de Barrameda. Elaboración propia	134
Fig. 3.34: Fotografía aérea ubicación Castillito.....	134
Fig. 3.35: Alzado frontal Villa el Castillito. Planos cedidos por Tragsatec	135
Fig. 3.36: Plantas Villa el Castillito. Planos cedidos por Tragsatec.	136
Fig. 3.37: Fachada frontal Villa el Castillito. Elaboración propia	136
Fig. 3.38. Fachada posterior Villa el Castillito.....	136
Fig. 3.39: Fotografía de Conjunto Villa el Castillito. Elaboración propia	137
Fig. 3.40: Climograma de Sanlúcar de Barrameda. Datos obtenidos en < http://es.climate-data.org/location/57184/>.....	138
Fig. 3.41: Diagrama de Temperatura Sanlúcar de Barrameda. Datos obtenidos en < http://es.climate-data.org/location/57184/>.....	138
Fig. 3.42: Tabla Climática Sanlúcar de Barrameda. Datos obtenidos en < http://es.climate-data.org/location/57184/>.....	139
Fig. 3.43. Rosa de vientos. Sanlúcar de Barrameda. (Fuente puertos.es)	140
Fig. 3.44. Situación trazado Canal Calzas Anchas (Utrera).	142
Fig. 3.45. Inauguración Canal Calzas Anchas (Utrera). (Diario de Sevilla 09/06/2012)	143
Fig. 3.46. Desvío Arroyo Calzas Anchas utrera. (https://www.chguadalquivir.es).....	144
Fig. 3.47. Canal Calzas Anchas (Utrera).(www.abc.es).	145
Fig. 3.48: Caracterización geométrica sección tipo 5 (Proyecto de refuerzo estructural del canal de desvío del arroyo Calzas Anchas. t.m. de Utrera (SEVILLA).	146
Fig. 3.49: Detalle armadura sección tipo 5 ((Proyecto de refuerzo estructural del canal de desvío del arroyo Calzas Anchas. t.m. de Utrera (SEVILLA).	146
Fig. 3.49b: Apuntalamiento provisional en tramos aguas abajo y aguas arriba de la zona afectada por el desplome.Canal de desvío del arroyo Calzas Anchas. t.m. de Utrera (SEVILLA).	147
Fig. 3.49c: Detalle corrosión armadura descubierta. Canal de desvío del arroyo Calzas Anchas. t.m. de Utrera (SEVILLA).	148
Fig. 3.49d: Detalle corrosión armadura descubierta. Canal de desvío del arroyo Calzas Anchas. t.m. de Utrera (SEVILLA)	148



Fig. 3.50: Avance frente carbonatación Caso I: fase 1. Elaboración propia	152
Fig. 3.51: Avance frente carbonatación Caso I: fase 2. Elaboración propia	153
Fig. 3.52: Avance frente carbonatación Caso II: Elaboración propia	154
Fig. 3.53: Avance frente carbonatación Caso III: Elaboración propia	155
Fig. 3.54: Umbral crítico de concentración de cloruros EHE 08.....	156
Fig. 3.55. Ubicación de los testigos de H.A extraídos para la realización de los ensayos descritos.(Tragsatec)	160
Fig. 3.56. Hormigón Fase I. Torre Vigía Castillo San Sebastián Cádiz. Elaboración propia	165
Fig. 3.57. Hormigón Fase II. Torre Vigía Castillo San Sebastián Cádiz. Elaboración propia	165
Fig. 3.58. Corrosión armaduras. Torre Vigía Castillo San Sebastián Cádiz. Elaboración propia	166
Fig. 3.59. Corrosión armaduras. Torre Vigía Castillo San Sebastián Cádiz. Elaboración propia	166
Fig. 3.60. Perfiles Carbonatación Probetas. Torre Vigía Castillo San Sebastián Cádiz. (Fuente Geocisa)	167
Fig. 3.61. Perfiles porcentaje sulfatos según Probetas. Torre Vigía Castillo San Sebastián Cádiz. (Fuente Geocisa)	170
Fig. 3.62. Perfiles porcentaje cloruros según Probetas. Torre Vigía Castillo San Sebastián Cádiz. (Fuente Geocisa)	171
Fig. 3.63. Perfiles porcentaje cloruros según Probetas Exteriores. Torre Vigía Castillo San Sebastián Cádiz. (Fuente Geocisa)	171
Fig. 3.64. Perfiles porcentaje cloruros según Probetas Interiores. Torre Vigía Castillo San Sebastián Cádiz. (Fuente Geocisa)	172
Fig. 3.65. Toma muestras acero. Torre Vigía Castillo San Sebastián Cádiz. (Fuente Geocisa).....	173
Fig. 3.66. Ubicación extracción de testigos Planta Sótano. Villa el castillito. Sanlúcar de Barrameda. (Fuente Songea)	175
Fig. 3.67. Ubicación extracción de testigos Planta Baja. Villa el castillito. Sanlúcar de Barrameda. (Fuente Songea)	176
Fig. 3.68. Ubicación extracción de testigos Planta Primera. Villa el castillito. Sanlúcar de Barrameda. (Fuente Songea).	177
Fig. 3.69. Testigo extraído.. Villa el castillito. Sanlúcar de Barrameda. (Fuente Songea).	177
Fig. 3.70. Testigo extraído. Villa el castillito. Sanlúcar de Barrameda. (Fuente Songea).	178
Fig. 3.71. Testigo extraído. Villa el castillito. Sanlúcar de Barrameda. (Fuente Songea).	178
Fig. 3.72. Testigo extraído. Villa el castillito. Sanlúcar de Barrameda. (Fuente Songea).	178
Fig. 3.73. Ensayo fenolftaleína en testigo. Profundidad carbonatación. Villa el castillito. Sanlúcar de Barrameda. (Fuente Songea).	179
Fig. 3.74. Muestras acero. Villa el castillito. Sanlúcar de Barrameda. (Fuente Songea).	180
Fig. 3.75. Muestras acero. Canal Calzas Anchas, Utrera. (Fuente Vorsevi).	181
Fig. 3.76. Estudios en el Canal Calzas Anchas, Utrera. (Fuente Vorsevi).	181
Fig. 3.77. Muestras acero corroído en el Canal Calzas Anchas, Utrera. (Fuente Vorsevi).	182
Fig. 3.78. Estado Inicial Rehabilitación Torre Vigía. Castillo San Sebastián. Cádiz. (Fuente: Ayesa). [85]	192
Fig. 3.79. Fase I Rehabilitación Torre Vigía. Castillo San Sebastián. Cádiz. (Fuente: Ayesa). [85]	193
Fig. 3.80. Fase II. Rehabilitación Torre Vigía. Castillo San Sebastián. Cádiz. (Fuente: Ayesa) [85]	194



Fig. 3.81. Fase III. Rehabilitación Torre Vigía. Castillo San Sebastián. Cádiz. (Fuente: Ayesa). [85]	195
Fig. 3.82. Fase IV. Rehabilitación Torre Vigía. Castillo San Sebastián. Cádiz. (Fuente: Ayesa). [85]	195
Fig. 3.83. Fase V. Rehabilitación Torre Vigía. Castillo San Sebastián. Cádiz. (Fuente: Ayesa). [85]	196
Fig. 3.84. Fase VI. Rehabilitación Torre Vigía. Castillo San Sebastián. Cádiz. (Fuente: Ayesa). [85]	196
Fig. 3.85. Fase VII. Rehabilitación Torre Vigía. Castillo San Sebastián. Cádiz. (Fuente: Ayesa). [85]	197
Fig. 3.86. Fase VIII. Rehabilitación Torre Vigía. Castillo San Sebastián. Cádiz. (Fuente: Ayesa). [85]	198
Fig. 3.87. Fase IX. Rehabilitación Torre Vigía. Castillo San Sebastián. Cádiz. (Fuente: Ayesa). [85]	198
Fig. 3.88. Fase X. Rehabilitación Torre Vigía. Castillo San Sebastián. Cádiz. (Fuente: Ayesa) [85]	199
Fig. 3.89. Planos Demoliciones forjados. Villa el Castillito. Sanlúcar de Barrameda. Cádiz. (Fuente: Tragsatec)[86]	201
Fig. 3.90. Detalle reparación bóvedas hormigón armado. Villa el Castillito. Sanlúcar de Barrameda. Cádiz. (Fuente: Tragsatec) [86]	202
Fig. 3.91. Sección tipo reparación estructural. Canal Calzas Anchas. Utrera (Sevilla). [90]	206
Fig. 3.92. Planta tipo reparación estructural. Canal Calzas Anchas. Utrera (Sevilla). [90]	206
Fig. 3.93. Sección unión viga arrostroamiento con muro. Canal Calzas Anchas. Utrera (Sevilla). [90]	207
Fig. 3.92. Contenido de cloruros probeta nº14. Villa el Castillito. Sanlúcar de Barrameda, Cádiz [87]	210
Fig. 3.93. Ensayo de fenofaleina probeta nº16 . Villa el Castillito. Sanlúcar de Barrameda, Cádiz [87]	212
Fig. 3.94. Extensión de la zona realcalinizada alrededor de la armadura a mitad del tratamiento (primera fase) y al término del tratamiento (segunda ía.se); C= recubrimiento, s.c.= espesor del estrato carbonatado. [94].	213
Fig. 3.95. Realcanización electroquímica (www.vector-corrosion.com).	214



INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Metodología de estudio. Elaboración propia.....	22
Tabla 2.1: Esquema de formación de una pila.	24
Tabla 2.2. Tipos de corrosión en las armaduras. (Elaboración propia)	25
Tabla 2.3. Factores desencadenantes y condicionantes de la corrosión de las estructuras de hormigón armado. (Elaboración propia)	35
Tabla 2.4. Relación entre profundidad y concentración de cloruros en el hormigón.	46
Tabla 2.5. Tabla composición del cemento Portland (Elaboración propia).	53
Tabla 2.6. Tabla límites óxidos en cemento Portland (A.M Neville, 1997)	53
Tabla 2.7. Efectos de la corrosión sobre estructuras de hormigón armado	72
Tabla 2.8. Riesgo de corrosión según medición de resistividades en el hormigón armado.	73
Tabla 2.9. Riesgo de corrosión según medición de potenciales eléctricos en el hormigón armado. (en milivoltios). [36]. http://www.hcc-es.com/archivos/BOLETIN%20TECNICO%2004-%20Proteccion%20catodica.pdf	74
Tabla 2.10: Riesgo de corrosión según medición de la velocidad de corrosión en estructuras de hormigón armado. [36].....	75
Tabla 2.11. Principales características de sistemas de rehabilitación de estructuras de hormigón armado mediante medios electroquímicos.	76
Tabla 2.12. Serie electroquímica de los metales más empleados. (http://revistas.concytec.gob.pe/img/revistas/iigeo/v7n13/a06tab01g.jpg).	78
Tabla 2.13. Ventajas e inconvenientes de la Protección Catódica mediante corriente impresa. Elaboración propia.	84
Tabla 2.14. Clasificación de matrices en Materiales compuestos. Elaboración propia.	99
Tabla 2.15. Tabla comparativa entre las diferentes propiedades de las fibras. Elaboración propia.....	108
Tabla 3.1: Resumen datos climáticos Cádiz.....	129
Tabla 3.3 Tabla para obtener el valor R. Elaboración propia	151
Tabla 3.4. Clasificación de la calidad del hormigón según velocidad de onda según Leslie y Cheesman. (http://personales.upv.es/fbardisa/Pdf/Ensayos%20de%20hormig%C3%B3n%20en%20estructuras.pdf).....	160
Tabla 3.5. Clasificación de la calidad del hormigón según velocidad de onda según Agraval y otros (http://personales.upv.es/fbardisa/Pdf/Ensayos%20de%20hormig%C3%B3n%20en%20estructuras.pdf).....	161
Tabla 3.6. Tabla datos según probetas extraídas en Torre Vigía. Castillo San Sebastián. Cádiz. Elaboración propia	161
Tabla 3.7. Tabla mediciones ultrasonido elementos estructurales Torre Vigía. Castillo San Sebastián. Cádiz. (Fuente: Geocisa)	162
Tabla 3.8. Tabla Tensión rotura probetas Torre Vigía. Castillo San Sebastián. Cádiz. (Fuente: Geocisa)	163
Tabla 3.9. Resistencia a compresión de las diferentes probetas Torre Vigía. Castillo San Sebastián. Cádiz. (Elaboración propia)	164
Tabla 3.10. Comparativa profundidad carbonatación diferentes probetas según su orientación Torre Vigía. Castillo San Sebastián. Cádiz. (Elaboración propia)	168



Tabla 3.11. Comparativa porcentaje de sulfatos en las diferentes probetas según su orientación Torre Vigía. Castillo San Sebastián. Cádiz. (Elaboración propia).....	169
Tabla 3.12. Comparativa porcentaje de cloruros en las diferentes probetas según su orientación Torre Vigía. Castillo San Sebastián. Cádiz. (Elaboración propia).....	170
Tabla 3.13. Limite elástico ensayo sobre las muestras de acero del punto F-1. Elaboración propia	173
Tabla 3.14. Limite elástico ensayo sobre las muestras de acero del punto F-2. Elaboración propia	174
Tabla 3.15. Valores de las probetas extraídas (Fuente Songea).	179
Tabla 3.15. Valores ensayos sobre muestras acero. (Fuente Songea).	180
Tabla 3.16. Valores ensayos sobre resistividad. Canal Calzas Anchas, Utrera. (Fuente Vorsevi).....	184
Tabla 3.17. Valores ensayos sobre muestras. Canal Calzas Anchas Utrera. (Fuente Vorsevi).	185
Tabla 3.18. Clasificación suelos según características de los mismos.. (Fuente Vorsevi).	185
Tabla 3.19. Valores ensayos resistividad sobre suelos. Canal Calzas Anchas Utrera. (Fuente Vorsevi).	185
Tabla 3.20. Valores ensayos característicos del agua. Canal Calzas Anchas Utrera. (Fuente Vorsevi).....	186
Tabla 3.21. Valores determinación de cloruros y sulfatos de probetas extraídas. Canal Calzas Anchas Utrera. (Fuente Vorsevi).	187
Tabla 3.22. Valores determinación de cloruros y sulfatos de probetas extraídas. Canal Calzas Anchas Utrera. (Fuente Vorsevi).	188
Tabla 3.23. Valores confrontados de los 3 casos a estudio. (Elaboración propia).....	209
Tabla 3.24. Modelo lineal de Velocidad de corrosión. (Modelo Tuutti.Elaboración propia)	209



CAPITULO 1 INTRODUCCIÓN

1.1 ASPECTOS GENERALES.

Actualmente el empleo del Hormigón armado ha desbancado como primera elección al reto de materiales de construcción considerados conjuntamente, lo que le proporciona, una gran influencia y repercusión en diferentes aspectos tanto científico, como económico y social a las investigaciones que propongan soluciones a la problemática que conlleva la durabilidad de las estructuras existentes o futuras desarrolladas con este material. Esto supone un enorme reto para la comunidad científica en aras de conseguir potenciar las características el hormigón armado.

El hormigón armado es un material compuesto conformado por una matriz de hormigón de cemento y refuerzos de barras de acero. La adherencia entre ambos materiales le da integridad y la protección al acero frente al ambiente exterior, presuponiendo una determinada vida útil. Por tanto las propiedades requeridas al hormigón armado estarán vinculadas con las características de la estructura a la cual está destinado y a su emplazamiento.

Se define como durabilidad a *“la capacidad del material para resistir hasta cierto punto los efectos de las condiciones ambientales de servicio a que está sujeto”*.

Históricamente en el hormigón armado, se han producido problemas de durabilidad de diverso calibre basados probablemente, en una mala ejecución de los elementos o en una mala proporción de los materiales que conforman el conglomerado, ya sea una alta permeabilidad como consecuencia de una mala relación agua/cemento, o un inadecuado curado o las propias reacciones de los agregados y sus causas, retracciones, ciclos hielo deshielo, corrosión del acero de refuerzo etc. [1]. Es esta tesis nos centraremos en los procesos de corrosión que sufren las armaduras de refuerzo del hormigón armado, así como los desencadenantes de los mismos y la afectación que estos procesos tienen en la durabilidad de los elementos formados con este material.

Existen numerosos datos documentados de procesos corrosivos a lo largo de la historia de la Arquitectura. Tenemos claros ejemplos de cómo la corrosión se ha integrado en la propia arquitectura, y de alguna manera forma parte de la estética de muchos de los elementos que configuran el panorama urbano, tal y como podemos apreciar en la Estatua de la Libertad de Nueva York ejecutada con más de 80 toneladas de cobre procedentes de las minas de cobre de Visnes, en la isla de Karmoy (Noruega), y fabricada por artesanos franceses. El cobre resultaba la elección idónea, soportando perfectamente la larga travesía de Francia a EEUU y resistiendo los efectos de la sal del mar. La pátina verde natural de la estatua, la ha protegido de la corrosión desde 1886.

Podemos afirmar que la patología más frecuente y la que provoca más daños en estructuras de hormigón armado es la corrosión de las armaduras de acero, lo que deriva en excesivos costos a la hora de la reparación de estas estructuras.



Fig. 1.1. Corrosión en pieza de Hormigón armado (elaboración propia. Isla de las Palomas. Tarifa 2015)



Fig. 1.2. Corrosión activa en estructura de hormigón armado (Elaboración propia. Castillo San Sebastián. Cádiz)

El diseño estructural teniendo en cuenta consideraciones tales como la durabilidad del material permite disminuir costos en la construcción, pero esto requiere consideraciones particulares y controles de calidad.

Las prescripciones para una estructura deben ser consideradas especialmente de acuerdo al ambiente en el que se encuentra emplazada y la función de la misma. Sin embargo, lo mencionado constituye un tema que no se tiene en cuenta en la mayoría de los casos, muchas veces por falta de control durante el proyecto y construcción, y otras por falta de percepción de la importancia de considerar la durabilidad de la estructura.

El progresivo deterioro de estructuras que se encuentran expuestas a la acción de los diferentes agentes atmosféricos constituye sin duda alguna un grave problema. En la mayoría de los países, las pérdidas económicas derivadas de la disminución de la durabilidad de las estructuras son cuantiosas, así como las eventuales pérdidas de vidas humanas. Es por ello que estas estructuras requieren de un constante mantenimiento para conservarse en buen estado.

Un ejemplo de esto lo tenemos en el colapso del puente Silver Bridge (Point Pleasant-Gallipolis) en Ohio, (EE.UU.) dic. 1967 con la pérdida de 46 vidas humanas debido a un fallo de acero de refuerzo con corrosión. [2]



Fig. 1.3. Silver Bridge (1928)
(https://en.wikipedia.org/wiki/Silver_Bridge)



Fig. 1.5. Silver Bridge después del colapso (1967)
(https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/2d/Silver_Bridge_collapsed%2C_Ohio_side.jpg)



Fig. 1.4. Silver Bridge Tras el colapso 1967)-
(<http://35wbridge.pbworks.com/w/page/900751/>)



Fig. 1.6 Silver Bridge Tras el Colapso (1967)-
(<http://www.wvculture.org/history/thisdayinwvhhistory/1215.jpg>)

El Centro Pompidou de Paris (Francia) también sufrió graves daños por corrosión a menos de 5 años de su construcción.



Fig. 1.7. Centro Pompidou Exterior. Paris (1977)
(<https://www.flickr.com/photos/campobaeza/8125299099/>)



Fig. 1.8. Centro Pompidou Interior. Paris (1977)
(<http://www.hormiga.org/fondosescritorio/wallpapers/Arte-y-Artistas/paris-centro-pompidu/NV-PF-332-Centre-Pompidou.jpg>)

En el Reino Unido se ha estimado un daño por corrosión inducido por la sal que se coloca para el deshielo de las carreteras de 616,5 millones de euros.

En Estados Unidos se estima que los costos anuales por corrosión en el sector industrial, rondan el orden de los 276 Billones de dólares, o lo que es lo mismo el 3.1 % del PIB.

Como consecuencia de esto se ejecutan costosas rehabilitaciones de estas estructuras y se impulsa la utilización de nuevos materiales como refuerzo de estas.

El costo de la corrosión del acero en España alcanza el 2,2% del PIB

OCTUBRE 18, 2011, Redacción



El costo de la corrosión del acero en España supone el 2,2% del PIB, más de 25.000 millones de euros, frente al 0,8% o 0,9% de los países de nuestro entorno.

El costo de la corrosión de los metales se estima en torno al 6% del PIB mundial (un 3% de costo directo y otro 3% de costos indirectos), según datos del estudio "Corrosion Costs and Preventive Strategies in The United States". En el caso de España, según datos de The Economist referidos a 2007, el costo supera los 48.000 millones de euros.

Si nos centramos sólo en el acero, los costos suponen en España a día de hoy el 2,2% del PIB, según los datos que maneja ATEG, la Asociación Técnica Española de Galvanización. Esto en euros supone más de 25.000 millones de euros. Hay que tener en cuenta que el acero se oxida muy rápidamente: 4 milímetros de pérdida al año.

En los países de nuestro entorno, esta cifra desciende al 0,8 o el 0,9 por ciento del PIB.

Fig. 1.9. (<http://aceroinox.net/?p=364> 15/03/2013 18:42h) (Artículo Web Acerinox 18/octubre/2011) [3]

Otro punto a analizar es la incidencia de los procesos corrosivos en el medio ambiente, ya que estas patologías pueden ocasionar por ejemplo una fuga de un gas o líquido altamente contaminante.

Las consecuencias de estas fugas dependerán de las características del propio fluido.

Por lo tanto en un cierto número de casos y sobre todo en plantas químicas la corrosión puede provocar o contribuir a provocar accidentes que tengan una grave repercusión sobre el medio ambiente como en el caso de Bhopal en La India 3 diciembre 1984 donde un problema de corrosión generó una fuga de gas tóxico (isocianato de metilo) que al entrar en contacto con la atmósfera comenzó a descomponerse en gases muy tóxicos (fosgeno, monometilamina y especialmente ácido cianhídrico, también conocido como ácido prúsico o cianuro de hidrógeno) que formaron una nube letal y

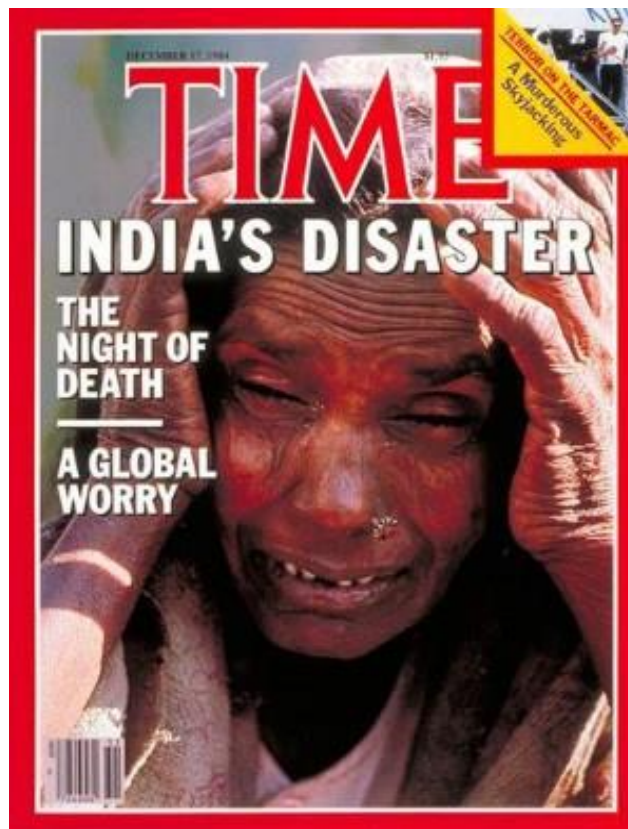


Fig. 1.10: Portada que dedicó la revista Time al Desastre de Bhopal.-



que, al ser más densos los gases que la formaban que el aire atmosférico, recorrió a ras de suelo toda la ciudad. (<http://enhs.umn.edu/current/2008studentwebsites/pubh6101/bhopal/home.html>)

Miles de personas y seres vivos murieron de forma casi inmediata asfixiadas por la nube tóxica y otras muchas fallecieron en accidentes al intentar huir de ella durante la desesperada y caótica evacuación de la ciudad.

1.2 OBJETIVOS

En esta tesis se pretende analizar pormenorizadamente el proceso corrosivo desde sus causas iniciales hasta las consecuencias finales que provoca en las estructuras.

Del mismo modo y una vez finalizada la fase inicial de investigación se pretende recoger una serie de pautas de actuación a la hora de abordar problemas de estas características, apoyándonos en casos reales y observando la evolución que los diferentes tratamientos realizados han tenido en estas estructuras.

Asimismo, se pretende analizar las distintas técnicas y materiales, que actualmente se utilizan para solucionar los problemas derivados de esta patología, y comprobar su evolución y eficacia a largo plazo.

1.3 METODOLOGÍA DE ESTUDIO.

El presente estudio se basa en la investigación de las causas y tratamientos de las patologías asociadas a la corrosión.

Para poder realizar un amplio análisis de cómo afectan tanto las condiciones climáticas como las características de los materiales empleados y su ejecución en la aparición de patologías de corrosión, se elegirán diferentes estructuras que nos sirvan como modelo para poder investigar los sistemas de rehabilitación utilizados en los mismos y su evolución a lo largo del tiempo.

Por tanto realizaremos inicialmente una descripción general del proceso corrosivo en el hormigón armado apoyándonos en los casos particulares que presentaremos. De esta forma tendremos unos datos reales con los que poder analizar las diferentes actuaciones para la regeneración estructural de estos elementos.

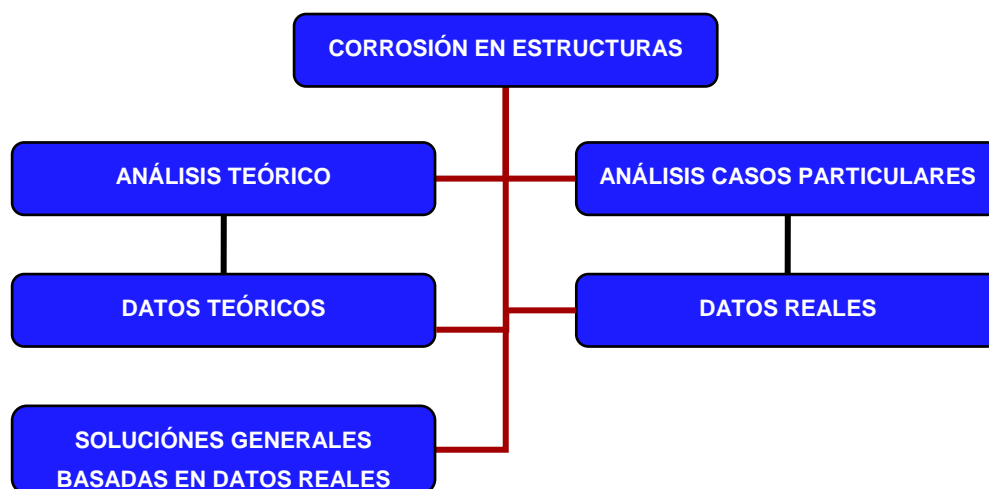
**ESTRUCTURA:**

Tabla 1.1: Metodología de estudio. Elaboración propia.

1.4 GRADO DE INNOVACIÓN

Se investigará la evolución de los diferentes tratamientos utilizados para paliar las consecuencias de estas lesiones en las diferentes estructuras analizadas. Se comprobará la eficacia de los nuevos tratamientos de tipo electroquímico que actualmente se están desarrollando para corregir estas patologías corrosivas, así como se establecerán protocolos de actuación, y futuras vías de investigación en el desarrollo de soluciones para frenar las consecuencias de estos procesos.

1.5 PLAN DE TRABAJO

Se discernirán cada uno de los pasos seguidos hasta la consecución de los objetivos propuestos. Una vez elegidas las estructuras a estudio, se analizarán los tratamientos efectuados en cada una de ellas y los resultados que estos tratamientos han tenido, de tal manera que podamos elaborar unas pautas de actuación a la hora de abordar las diferentes lesiones que los procesos de corrosión confieren a las estructuras.

CAPITULO 2 ESTADO DEL ARTE

2.1 INTRODUCCIÓN AL PROCESO CORROSIVO.

2.1.1 DEFINICIÓN

“La **corrosión** se define como un ataque destructivo de un metal por reacción química o electroquímica con su medioambiente” [5] Los materiales tienen una tendencia general a buscar sus formas más estables o de menor energía interna, la corrosión es por tanto un proceso natural en los que se produce, provocada por esta característica de los metales, una transformación del elemento metálico a un compuesto más estable, en este caso un óxido.

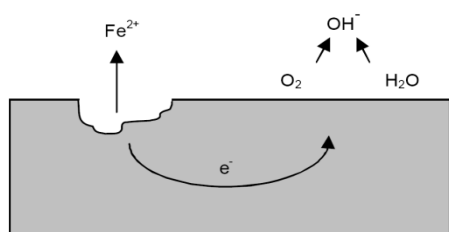
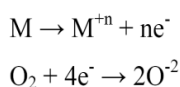


Fig. 2.1: Proceso de corrosión de un metal. (<http://www.teleingeniero.com/?p=210>)

Distinguimos entre dos formas de corrosión [6]:

Corrosión Seca/ Oxidación directa. El ataque se produce por una reacción química, donde no interviene una corriente eléctrica. Está caracterizada por la presencia de agentes químicos altamente oxidantes o corrosivos por sí mismos sin que sea necesaria la presencia de humedad para la formación de un electrolito como por ejemplo o si el metal sufre una temperatura elevada en ausencia de agua. De esta forma un metal sometido a altas temperaturas sufrirá una oxidación directa con la correspondiente producción de electrones.



Corrosión Húmeda. Se produce el ataque por una reacción electroquímica, existe una corriente eléctrica dentro del medio corrosivo. Es la más habitual. En este tipo de corrosión se producen zonas de disolución del metal y otras en las que no se altera el mismo.

El mecanismo de la corrosión de los materiales metálicos en contacto con una disolución es de naturaleza electroquímica. Esto implica, que la oxidación del metal esta compensada por la reducción de otra sustancia en otra región de la superficie metálica. Por lo tanto se generan dos zonas con diferente potencial electroquímico (ánodo y cátodo) y se produce una fuga de electrones desde el ánodo (-) hasta el cátodo (+)

El **ánodo** es un electrodo en el cual o a través del cual, la corriente positiva pasa hacia el electrolito, es decir, es el lugar donde el metal se corroe.

El **cátodo** es el electrodo en el cual entra la corriente positiva proveniente del electrolito, este no es consumido en el proceso de corrosión, por tanto es el lugar donde el metal se reduce.

El **electrolito** es cualquier sustancia que contiene iones libre, los que se comportan como un medio conductor eléctrico, por tanto un electrolito es una solución de sales en agua, que da lugar a la formación de iones y que permiten que la energía eléctrica pase a través de ellos.

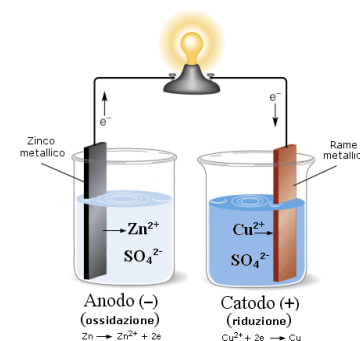


Fig. 2.2: Representación pila galvánica
(<http://www.larapedia.com/elettrochimica/elettrochimica.html>). [7]

Siempre que la corrosión esté originada por una reacción electroquímica (oxidación), la velocidad a la que tiene lugar dependerá en alguna medida de la temperatura, de la salinidad del fluido en contacto con el metal y de las propiedades de los metales en cuestión.

La transmisión de cargas eléctricas es por electrones del ánodo al cátodo (por medio del metal) y por iones en el electrolito. La cantidad de metal que se corroe es proporcional a la Intensidad (I) de corriente que se produce (Amperios) y al tiempo transcurrido (segundos), según la Ley de Faraday

$$\text{Número de equivalentes-gramos} = \frac{I * t}{96493}$$

Los procesos anódico y catódico suponen la formación de una pila electrolítica.

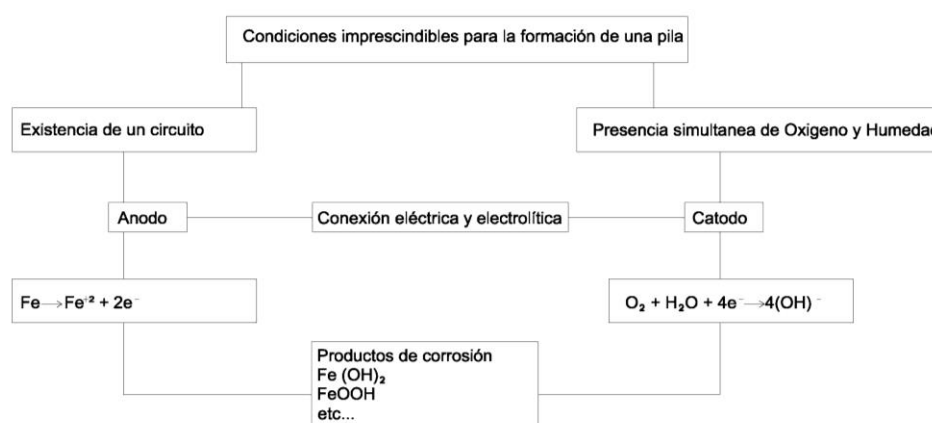


Tabla 2.1: Esquema de formación de una pila.

2.1.2 TIPO DE CORROSIÓN.

La corrosión puede adoptar formas diversas, según la localización de las zonas anódicas y catódicas, y la posible existencia de tensiones mecánicas importantes

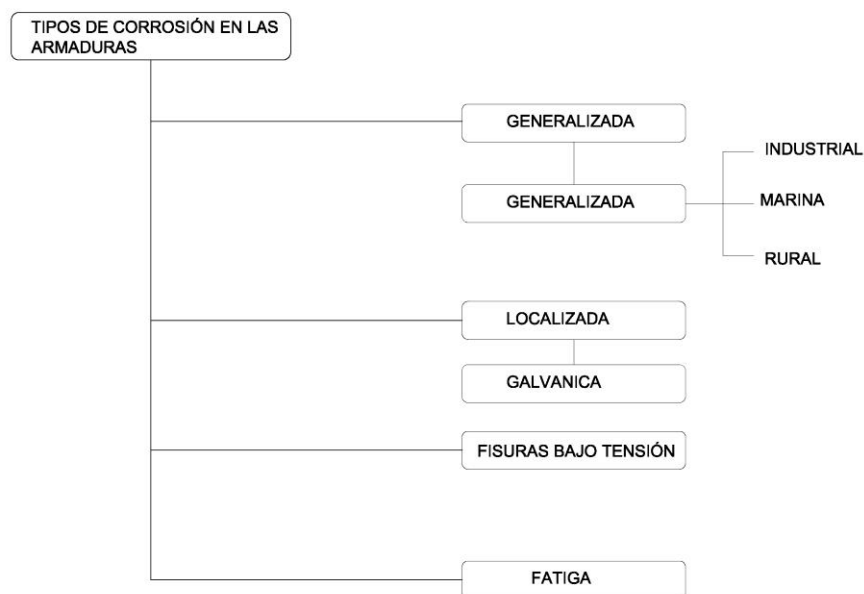


Tabla 2.2. Tipos de corrosión en las armaduras. (Elaboración propia)

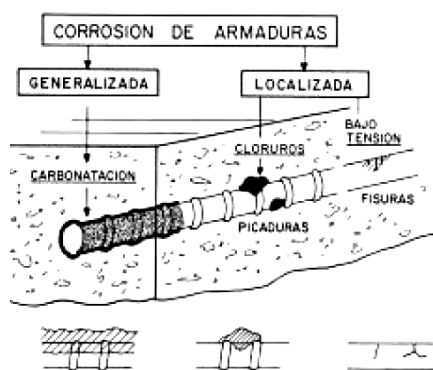


Fig. 2.3. Tipología de la corrosión de la armadura en el hormigón armado (ANDRADE, C., ALONSO, C. SARRIÁ, J. y CASTELLOTE, M. (1998). Conceptos básicos sobre corrosión de armaduras) [8]



A) GENERAL O UNIFORME

Es aquella corrosión que se produce con el adelgazamiento uniforme del elemento producto de la pérdida regular del metal superficial. Aparece cuando el ataque afecta a toda la superficie del metal (puede ser corrosión uniforme o corrosión generalizada irregular, según que el ataque sea o no uniforme).

El proceso ocurre por un descenso de la alcalinidad del hormigón que puede ser debido a una lixiviación por circulación de aguas puras o ligeramente ácidas o por reacción de los compuestos de carácter básico NaOH, KOH, Ca(OH)_2 de la fase acuosa del hormigón con los componentes ácidos de la atmósfera de CO_2 y de SO_2 para dar carbonatos-sulfatos y agua.

Dentro de este grupo, la *corrosión atmosférica* es la más importante que puede sufrir la armadura, ya que aunque al estar ejecutada estaría protegida de los agentes agresivos por el hormigón, a la hora de su colocación en obra y su almacenamiento puede sufrir los estragos de la corrosión y poner en peligro la capacidad elástica y resistente de la misma. La severidad de esta clase de corrosión se incrementa cuando la sal, los compuestos de sulfuro y otros contaminantes atmosféricos están presentes.

Los factores de mayor influencia en la corrosión atmosférica son: la Temperatura, la Presencia de Contaminantes en el Ambiente y la Humedad. [9]

Se puede predecir en este tipo de corrosión la pérdida de material en un cierto tiempo (g.cm^{-2} o mm.año^{-1}) con las Leyes de Faraday.

$w = \frac{jAtM}{nF}$	$w = \text{masa del metal corroído (g); } j = \text{densidad de corriente (amp/cm}^2\text{)}$
	$t = \text{tiempo (segundos); } A = \text{área del material que se corroe (cm}^2\text{)}$
	$M = \text{masa del átomo gramo del metal (g/mol)}$
	$n = \text{n}^\circ \text{ de electrones/átomo producido o consumido en el proceso}$
	$F = \text{Constante de Faraday (96500 coulombs/mol)}$

Los ambientes atmosféricos donde pueden iniciarse estos procesos corrosivos son los siguientes:

Industriales:(compuestos sulfurosos, nitrosos y agentes ácidos)

Marinos (presencia del ión cloruro)

Rurales (bajos niveles de compuestos ácidos y otros agentes agresivos)

B) LOCALIZADA

Es la segunda forma de corrosión, en donde la pérdida de metal ocurre en áreas discretas o localizadas.

Al ser muy heterogéneo el hormigón y su microambiente, es habitual que los procesos anódicos y catódicos no se encuentren uniformemente distribuidos, sino que en algunos puntos es más fuerte el proceso catódico y en otros el anódico. En el caso específico de concentración en un número reducido de puntos, con una reducida relación entre las zonas anódicas y las catódicas, el ataque en las anódicas se intensifica fuertemente dando lugar a la corrosión por picaduras (pitting) (fig 2.4).



Fig. 2.4: Pitting/ ataque por picadura. (<http://www.merus.es/in-general/pitting>) [10]



Fig. 2.5: Efectos corrosión ion Cloruro. (<http://jdmoreno3.blogspot.com.es/2013/10/carbonatacion-versus-ataque-por-ion.html%20>.) [11]

La situación más desfavorable con la que se puede encontrar es la presencia de cloruros (*fig 2.5*) que son los iones más agresivos. Los sulfatos son igualmente despasivantes aunque menos frecuentes y peligrosos.

C) CORROSIÓN GALVÁNICA

Es un proceso electroquímico en el que un metal se corroe preferentemente cuando está en contacto eléctrico con un tipo diferente de metal (más noble) y ambos metales se encuentran inmersos en un electrolito o medio húmedo. Por este motivo, cuando dos o más diferentes tipos de metal entran en contacto en presencia de un electrolito, se forma una celda galvánica debido a que metales diferentes tienen diferentes potenciales de electrodo o de reducción.

El electrolito suministra el medio que hace posible la migración de iones por lo cual los iones metálicos en disolución pueden moverse desde el ánodo al cátodo. Esto lleva a la corrosión del metal anódico (el que tienen menor potencial de reducción) más rápidamente a la vez que la corrosión del metal catódico (el que tiene mayor potencial de reducción) se retrasa hasta el punto de detenerse. Por lo tanto, la presencia de electrolitos y un camino conductor entre los dos metales puede causar una corrosión en un metal que, de forma aislada, no se habría oxidado.

D) CORROSIÓN BAJO TENSIÓN “STRESS CORROSIÓN CRACKING”

Se produce con generación de fisuras, cuando además del proceso de corrosión existe una tensión mecánica elevada y un metal susceptible a ese fenómeno. Este tipo de corrosión se suele producir en elementos pretensados.

Cuando se desarrolla la corrosión en las armaduras de acero embebidas en el hormigón, los productos generados, inicialmente se acumulan sobre su superficie, tratando de llenar la estructura de poros del mismo. Debido al importante incremento de su volumen (en general, superior al del metal básico), presionan sobre el recubrimiento, hasta que, superada la resistencia a tracción del hormigón, se originan fisuras. Si las barras además se encuentran sometida a tensiones, la capa de óxidos pasivantes al principio, y la de los productos de corrosión posteriormente, puede quebrarse, acelerándose el proceso corrosivo. (*fig. 2.6 y 2.7*)

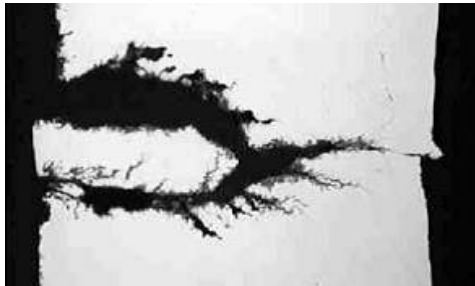


Fig. 2.6: Corrosión bajo tensión. [12].

(http://www.indura.cl/_file/file_1774_manualdeacerosinoxidables%20indura.pdf.)



Fig. 2.7: Fallo por corrosión bajo tensión de un tanque de amoníaco anhidro. (Packer Engineering Inc. IL, USA)

(http://www.analisisdefractura.com/corrosion_tension.htm)

E) CORROSIÓN POR FATIGA

El fenómeno de fatiga es aquel que tiene lugar cuando tenemos ciclos de tensión en el tiempo, generando variaciones entre sollicitaciones a tracción y compresión para la misma pieza.

Cuando además existe corrosión, se produce la reducción de la resistencia a fatiga debido a la presencia de un medio corrosivo, siendo así el número de ciclos de vida menor, por lo tanto coexisten un proceso de corrosión y una sollicitación cíclica importante, este efecto conduce normalmente a la rotura de las capas pasivas que favorece la formación y el desarrollo de grietas. La frecuencia de ciclos de tensiones tiene gran influencia en el desarrollo de este fenómeno, teniendo más importancia esta influencia cuando las frecuencias son bajas, pues se consigue más tiempo para que actúe la corrosión, debido al mayor tiempo de contacto con el agente corrosivo.

Se cree que la resistencia a fatiga se reduce por el agente corrosivo ya que los pequeños agujeros originados en la corrosión producen concentración de tensiones.

La falla es de tipo transgranular (por dentro de granos) y no se muestran ramificaciones, las cuales, son características de fisuras que progresan entre bordes de granos del material.

Las etapas finales de fatiga con corrosión son iguales a las de fatiga porque ese proceso es mecánico y no incide el agente corrosivo. Fig. (2.8)

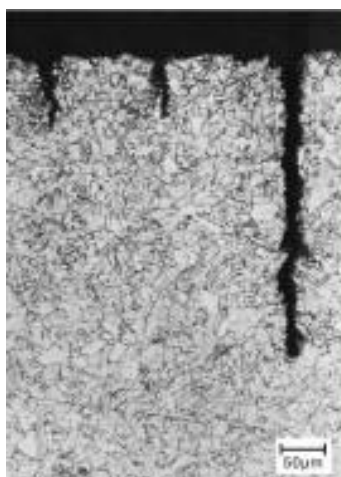


Fig. 2.8: Corrosión por fatiga. Fisura por fatiga perpendicular a la superficie, en la cara exterior de un tubo de cobre. [13]

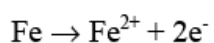
(http://www.cimsaww.com/internet/es/cupropedia/la_corrosi_n/corrosi_n_por_fatiga/CORROSIÓN_por_fatiga_1.jsp.)

LA CORROSIÓN EN ESTRUCTURAS DE ACERO.

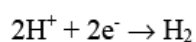
Se produce la oxidación espontánea de los metales debido a un ataque destructivo del medio ambiente, a través de reacciones químicas o electroquímicas. En la corrosión electroquímica los átomos del metal son oxidados dejando la red del metal como iones, creando un exceso de electrones en la superficie del metal. Estos electrones pueden ser transferidos a una especie activa en el electrolito produciéndose la reacción de reducción. La reacción de corrosión se conoce como **reacción anódica** y las áreas de electrodo donde ocurre se les llama **ánodos**, tal y como hemos visto en apartados anteriores.

La electroneutralidad de la materia exige que en otros puntos, conocidos por cátodos, se reduzca alguna sustancia del medio ambiente en contacto con el material metálico. Las áreas donde ocurre la **reacción catódica** (de reducción) se denominan **cátodos**.

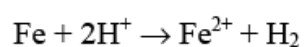
En el caso del acero, la reacción anódica que tiene lugar es:



Consecuentemente, una reacción catódica tiene que tener lugar para iniciar y mantener la corrosión metálica. Un ejemplo de reacción catódica es la reducción de protones.



La reacción de corrosión total será la suma de ambas reacciones.



Tanto la reacción anódica como catódica dan lugar a corrientes llamadas anódica y catódica respectivamente y la corriente total suma de ambos procesos es proporcional a la velocidad de corrosión.

Un esquema del proceso sería:

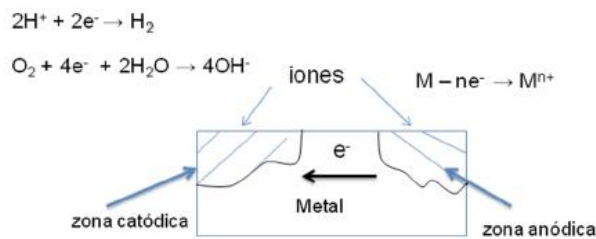


Fig. 2.9. Corrosión acero (Elaboración propia)

[14] (<http://www.lamigal.com/metal-acero-corrosion/metal-corrosion-galvanizado.html>)

ESQUEMA DE FORMACIÓN DE UNA PILA ELECTROQUÍMICA

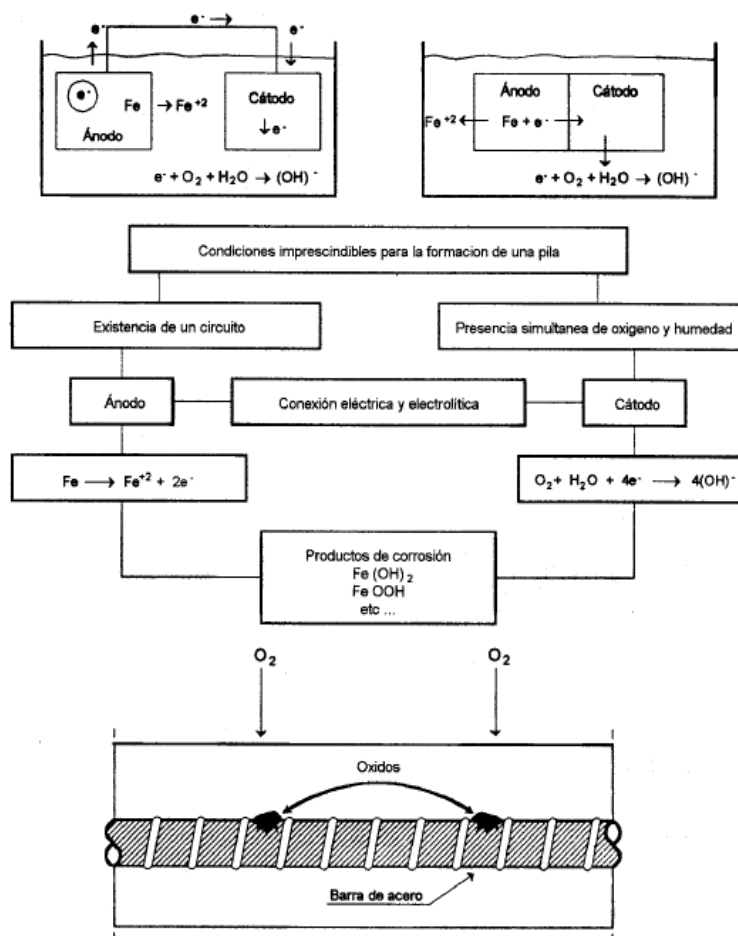


Fig. 2.10. Formación de una pila electroquímica [15]

DIAGRAMAS DE POURBAIX

Los diagramas de Pourbaix establecen para cada metal las condiciones de pH y de potencial en las que el metal se corroe, se pasiva o permanece inmune.

El estado definido de **pasividad** supone que el metal se recubre de una capa de óxidos, transparente, imperceptible y que actúa de barrera impidiendo la posterior oxidación. El metal posee la apariencia de mantenerse inalterado, sin embargo el estado de inmunidad supone que el metal no se corroe al no darse las condiciones termodinámicas para ello.

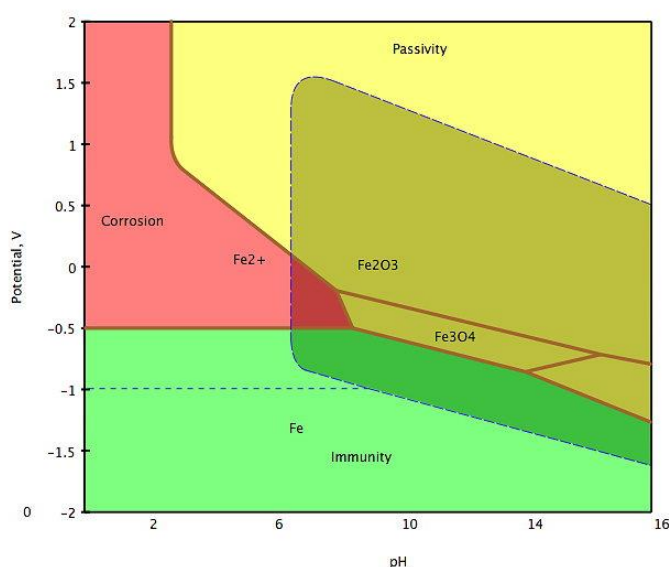


Fig. 2.11: Diagrama de Pourbaix para el acero en contacto con el agua a 25°C [16]

2.1.3 LA CORROSIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO.

La corrosión del acero en el hormigón se produce a través de un proceso electroquímico que requiere de una reacción de oxidación, otra de reducción y la circulación de iones a través del electrolito y donde las pilas pueden formarse de dos maneras:

- Existencia de dos metales diferentes dentro del hormigón, armadura de acero y conducto de aluminio, o la variación entre las características superficiales del acero.
- Pilas formadas por diferentes concentraciones de iones disueltas cerca del acero como álcalis, cloruros o el oxígeno.



Fig. 2.12 Izquierda.: representación armadura corroída en estructura de Hormigón armado
(<https://rbconspro.files.wordpress.com/2009/06/steel1.jpg>) [17]

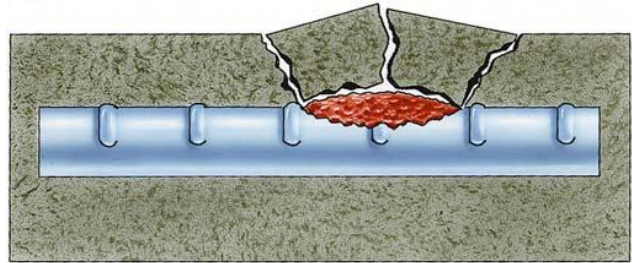


Fig. 2.13. Rotura recubrimiento por corrosión de armadura. [17]
(http://quimilock.es/corrosion/muestra_doc_nivel1.php?iddoc=59&categoria=1.htm)

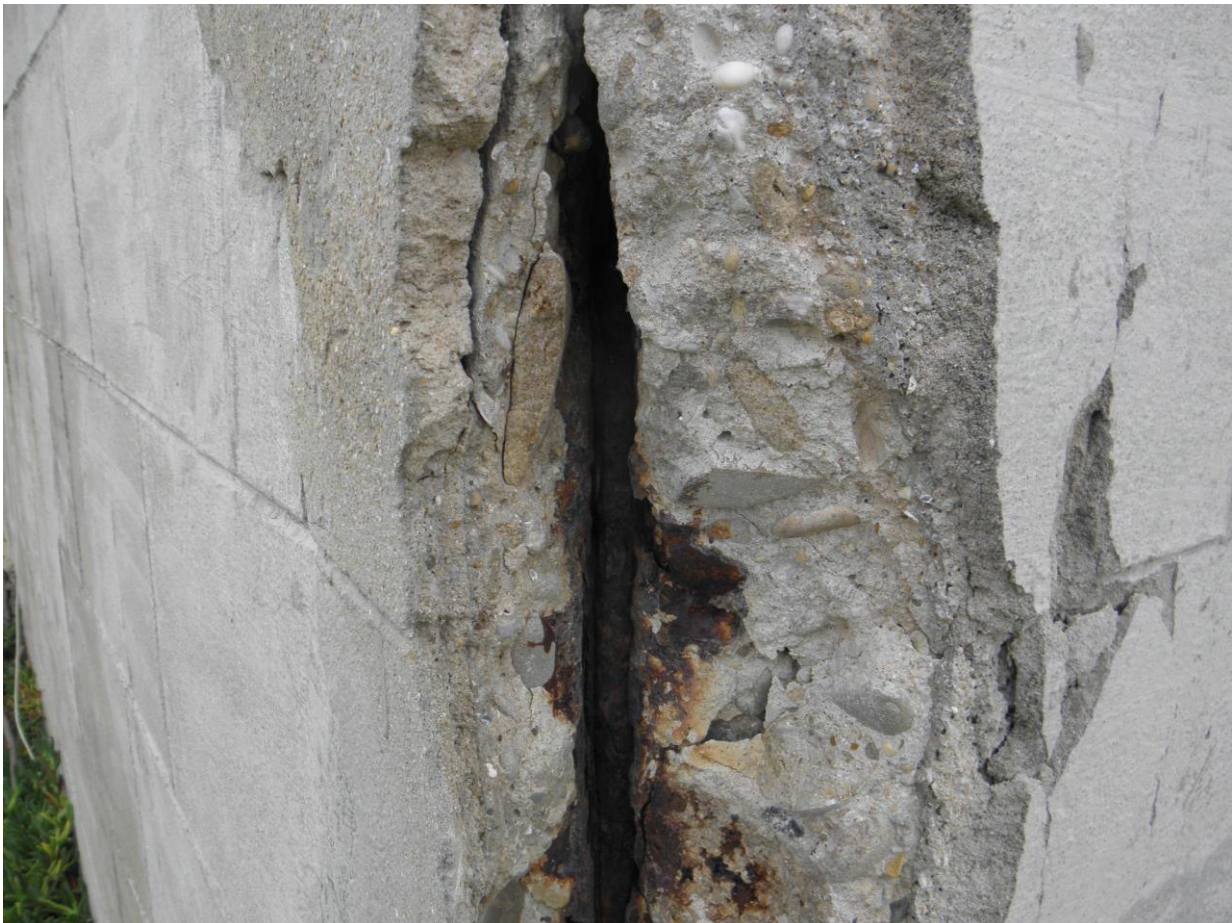


Fig. 2.14 Corrosión en armadura (Elaboración propia. Castillo San Sebastián Cádiz) 2012

Como ya hemos comentado con anterioridad, para que se produzca la corrosión se necesitan las siguientes condiciones:

- >La presencia de un ánodo que produce los electrones.
- >El cátodo en la superficie donde se efectúa la reducción.
- >La disponibilidad de oxígeno en correspondencia con el cátodo.
- >La disponibilidad de agua (humedad) en la ubicación del cátodo.
- >Una conexión eléctrica entre el ánodo y el cátodo que permita la transferencia de electrones.

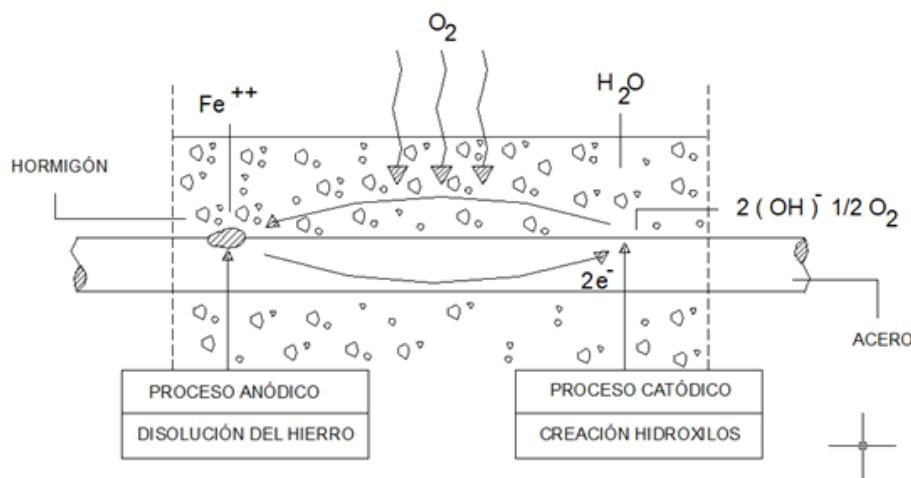


Fig. 2.15. Proceso de corrosión en estructura de hormigón armado. (<http://image.slidesharecdn.com/2proteccioncatodica-120101183041-pHpapp02/95/proteccion-catdica-en-estructuras-de-hormign-armado-2-728.jpg?cb=1325443706>)

Consecuentemente la corrosión no se produce en el hormigón seco, pues está impedido el proceso electrolítico y tampoco ocurre en el hormigón saturado de agua debido a la falta de oxígeno.

En el caso del hormigón armado, la disolución (electrolito) está constituida por la solución de los poros del hormigón, que es de naturaleza altamente alcalina (la solución de los poros está formada por una mezcla de KOH y NaOH resultando valores de pH que varían entre 12.6-14). [18]

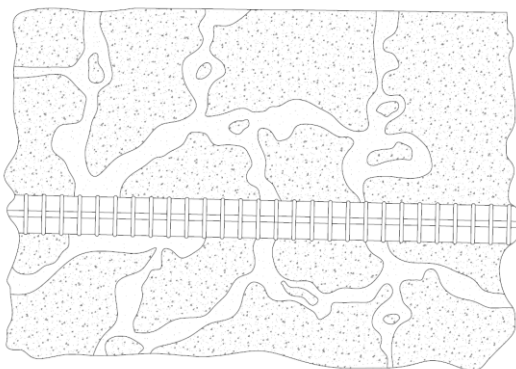
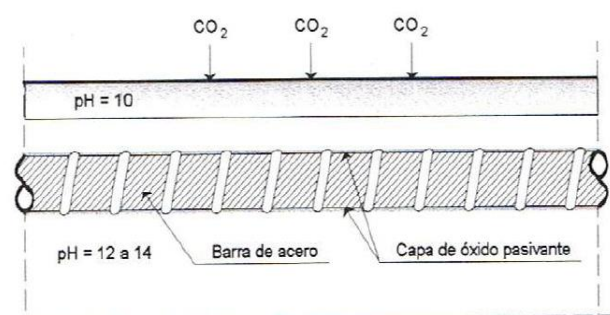


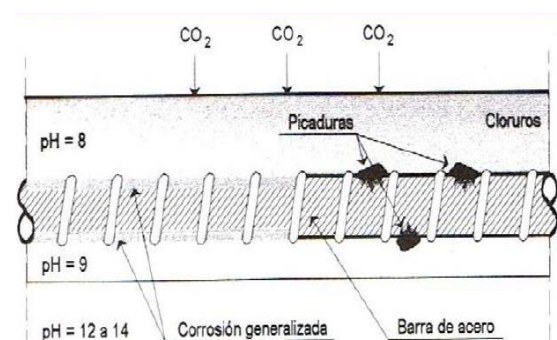
Fig. 2.16. Red de poros debida a un exceso de agua de amasado (Elaboración propia).

El camino para el avance de los agentes agresivos desde el exterior son los poros capilares, que contienen la llamada fase acuosa de los poros de naturaleza muy alcalina. La solución está saturada en $\text{Ca}(\text{OH})_2$, debido a esta propiedad el acero de las armaduras adquiere un estado que lo protege de la corrosión denominado **pasivación**. De este modo el acero embebido en el hormigón está protegido naturalmente de la corrosión por dos efectos, la alta alcalinidad del medio y el efecto barrera que proporciona el propio hormigón (recubrimiento).



ESTADO PASIVO

La armadura está protegida por la capa pasivante del recubrimiento, el pH es superior a 9.



ESTADO ACTIVO

El pH desciende hasta valores inferiores a 9, con lo que se inicia la corrosión en el acero del hormigón.

Fig. 2.17. Estado pasivo y activo de armadura.

Dos son las causas fundamentales de la pérdida de esta capacidad protectora del hormigón, la **carbonatación** del recubrimiento y la presencia de **iones cloruros/sulfatos**.

El proceso de corrosión se desarrolla a través de la formación de numerosas micropilas en las zonas con corrosión activa. En el caso de producirse corrosión localizada, pueden coexistir áreas pasivas con áreas activas y por tanto también se pueden desarrollar macropilas.

La corriente galvánica que se genera por la acción de la macropila suele ser un 10-20 % de la corriente producida por la acción de las micropilas.

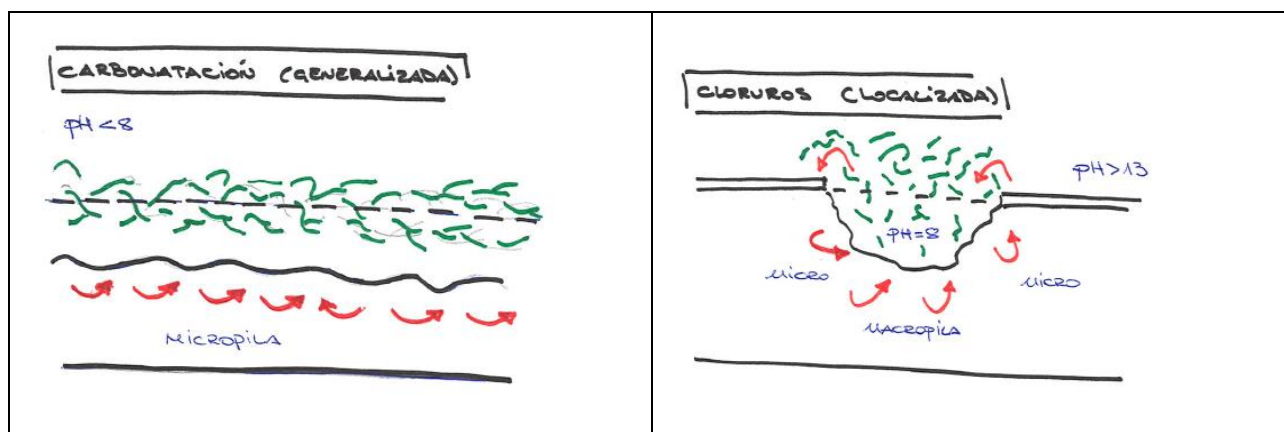


Fig. 2.18. Esquema de Micropila/Macropila (Elaboración Propia).

Podemos por tanto establecer una clasificación de los factores desencadenantes y condicionantes de la corrosión en estructuras de hormigón armado según el siguiente cuadro anexo:

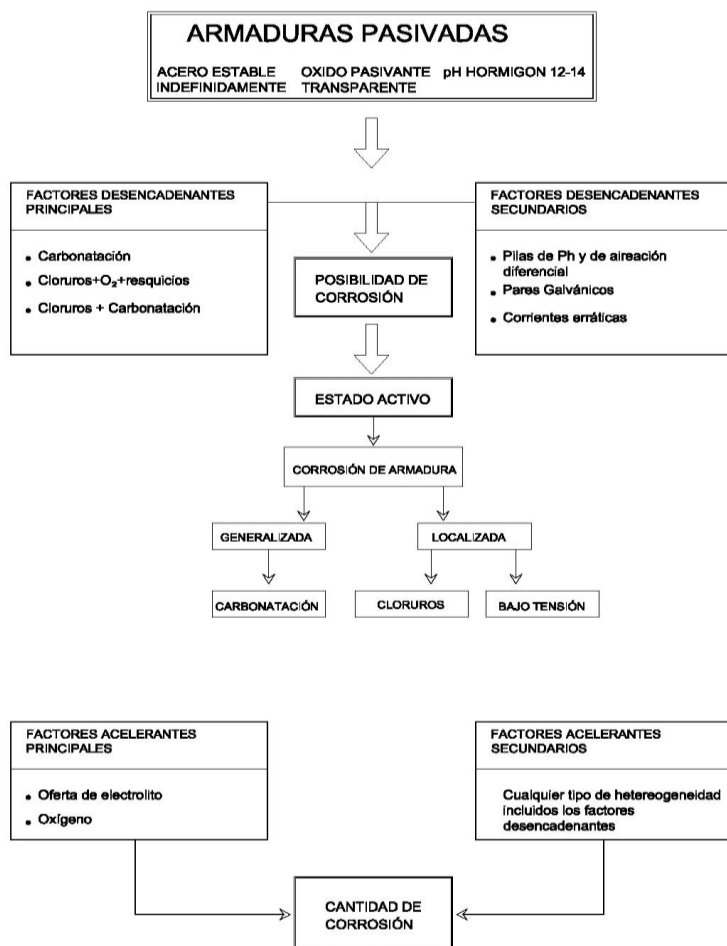


Tabla 2.3. Factores desencadenantes y condicionantes de la corrosión de las estructuras de hormigón armado. (Elaboración propia)

2.1.4 LA CORROSIÓN EN OTROS TIPOS DE MATERIALES.

A parte de las estructuras de hormigón armado y de acero que son las que más frecuentemente presentan procesos corrosivos existen otros elementos formados de otros materiales distintos que pueden presentar corrosión. Así por ejemplo, la corrosión de materiales refractarios por escorias y vidrios fundidos tienen una gran repercusión económica, a la vez que su estudio es muy complicado debido a que la heterogeneidad de los mismos provoca que las interpretaciones de los mecanismos de ataque corrosivo sean muy complejas, al no presentar una composición uniforme al ataque. [19]

El resultado del ataque de un material refractario por una escoria es la disolución del mismo en el líquido corrosivo, y este proceso de disolución depende de varios factores:

- a) La temperatura
- b) La composición del fundido
- c) La composición de todas las fases refractarias
- d) De la presión y atmosfera del horno.

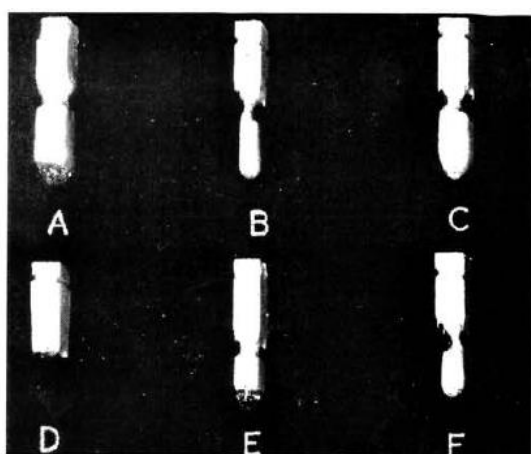


Fig. 2.19 .Muestras de diferentes materiales refractarios corroídos después de 120h a 1400°C en un vidrio sodocálcico. [20]

Existen otros muchos casos de corrosión en materiales tales como el cobre y sus diferentes aleaciones, aunque este material es muy resistente en comparación con otros materiales de uso común como el acero.

La resistencia a la corrosión de los materiales de cobre es buena en diferentes condiciones, incluso en los ambientes industriales. La elevada resistencia a corrosión atmosférica contra el desgaste está basada en la generación de una capa protectora homogénea en la superficie, que ralentiza posibles ataques posteriores, conocida como "pátina". Un ejemplo claro de esta patina lo podemos ver en la corrosión química en la Estatua de la Libertad, cuyo color verdoso se debe a una capa de óxido llamado Cardenillo (pátina venenosa de color verdoso o azulado que se forma sobre



superficies de cobre o de alguna de sus aleaciones, como bronce o latón). Esta pátina suele ser una mezcla de acetatos de cobre, principalmente acetato de cobre (II), $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2$, con óxidos e hidróxidos de cobre.

2.2 FACTORES QUE INFLUYEN EN EL PROCESO CORROSIVO.

2.2.1 CONDICIONANTES AMBIENTALES/ATMOSFÉRICOS.

El fenómeno corrosivo se encuentra ampliamente influenciado por la composición química de la atmósfera que lo rodea, uno de los factores que determina primariamente la intensidad del fenómeno corrosivo en la atmósfera es la composición química de la misma. El SO_2 y el NaCl son los agentes corrosivos más comunes de la atmósfera. El NaCl se incorpora a la atmósfera desde el mar, lejos de éste, la contaminación atmosférica depende de la presencia de industrias y núcleos de población, siendo el contaminante principal por su frecuencia de incidencia sobre el proceso corrosivo el dióxido de azufre (SO_2), proveniente del empleo de combustibles sólidos y líquidos que contienen azufre.

2.2.1.1 CONTENIDO DE HUMEDAD.

El hormigón absorbe fácilmente la humedad ambiente, pero tarda mucho tiempo en secarse. Esto da lugar a que la humedad del interior del hormigón sea superior a la humedad ambiente. Si la humedad exterior permanece constante, se establece un equilibrio entre el contenido de humedad en el interior y la humedad ambiental /relativa (HR). Pero si por el contrario, la humedad ambiental oscila, el interior del hormigón no puede seguir los cambios a la misma velocidad, por tanto, sólo la capa exterior del hormigón es la que mantiene el equilibrio con la humedad relativa exterior.

El contenido de humedad es el factor que más influye en la velocidad de corrosión. Si los poros contienen poca humedad, la resistividad es muy elevada y el proceso de corrosión se encuentra muy dificultado. En estas condiciones, la velocidad de corrosión será baja a pesar de tratarse de un hormigón carbonatado o contaminado por cloruros.

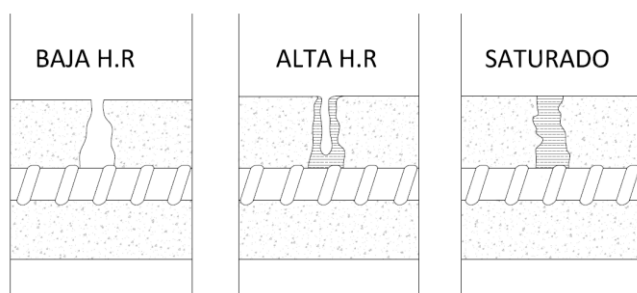


Fig. 2.20. Contenido de humedad en los poros dependiendo de la humedad ambiental. (Elaboración propia)

Si la humedad relativa es alta, pero no llega a saturar los poros, la velocidad de corrosión es elevada porque el oxígeno llega hasta la armadura y la resistividad es tan baja que da lugar a velocidades de corrosión máximas.



Sin embargo, la corrosión no se puede producir cuando el hormigón está totalmente seco porque no se puede desarrollar el proceso electrolítico y tampoco si los poros están saturados de humedad.

En este caso la resistividad será la menor posible y la pila de corrosión se verá favorecida, pero sin embargo el oxígeno tendrá primero que disolverse en el agua y difundirse a través de él, para poder alcanzar la armadura, dando lugar a velocidades de corrosión moderadas e incluso bajas. Por lo tanto la humedad del hormigón juega un papel importante en la corrosión de las armaduras ya que favorece la penetración y disolución de los agentes agresivos y proporciona el vehículo para que la corrosión avance.

2.2.1.2 TEMPERATURA.

La temperatura desempeña un doble papel en los procesos de deterioro. Por un lado, un incremento de temperatura da lugar a un aumento de la velocidad de corrosión y de la movilidad de los iones. Y por otro lado, una disminución de la misma origina condensaciones, que a su vez pueden producir incrementos locales de contenido en humedad.

Es importante destacar que la humedad, el oxígeno y la temperatura pueden tener efectos contrapuestos (*Andrade, 2002*), ya que una mayor humedad facilita la corrosión pero impide el acceso de oxígeno, o bien un incremento de temperatura, acelera el movimiento de los iones, pero disminuye la condensación. El incremento de temperatura potencia todas las reacciones químicas. Se estima que un aumento de la temperatura en 10°C duplica la velocidad de la reacción.

La corrosión por carbonatación se activa en el rango de 60 a 90 % de humedad relativa. En el caso de la corrosión por cloruros el efecto de la humedad es importante en especial en los niveles de 70 a 90 % de humedad relativa. Experiencias en regiones cálidas muestran que la elevada humedad relativa favorece el fenómeno de la corrosión.

La experiencia internacional sobre procesos de corrosión en estructuras de hormigón armado y pretensado, demuestra que la corrosión se incrementa en las zonas marítimas de climas semitropicales y subtropicales, con temperaturas elevadas y apreciable humedad relativa, en comparación con los resultados que se obtienen en climas fríos o templados.[15]

2.2.1.3 ACCIÓN MARINA. EL ATAQUE POR EL ION CLORURO

La mayor parte de las aguas de mar presentan una composición química uniforme, esta está claramente caracterizada por la presencia aproximadamente de un 3.5% de sales solubles en peso. Las mayores concentraciones iónicas son las del Sodio (Na^+); y del Cloro (Cl^-). También hay cantidades significativas de Mg^{2+} y SO_4^{2-} que normalmente son de 1.400 y 2.700 mg/litro. El pH varía entre 7.5 y 8.4 [21]



La agresividad del ambiente marino se debe fundamentalmente a las sales que lleva disuelta el agua de mar: cloruro sódico, cloruro magnésico, sulfato magnésico, sulfato cálcico, cloruro potásico, sulfato potásico y bicarbonato cálcico.

El ambiente marino representa una prueba muy dura de durabilidad para las estructuras de hormigón, porque están expuestas simultáneamente a la combinación de muchos factores.

La permeabilidad es clave en la durabilidad, el origen de una insuficiente impermeabilidad puede estar en hormigones mal dosificados, ausencia de aire incluido si la estructura se encuentra en climas fríos, compactación y curado inadecuado, falta de recubrimiento de las armaduras, juntas mal diseñadas o construidas, y microfisuración del hormigón debido a las cargas, a la retracción térmica o de secado, y a la expansión por la reacción álcali-árido.

Los principales componentes de la agresión en los hormigones en medio marino son los siguientes:

a) *Factores químicos*: La acción química de los constituyentes del agua de mar sobre los productos de hidratación del cemento de la reacción álcali-árido (cuando hay áridos reactivos). La agresión de las sales marinas sobre el hormigón no es significativa, generalmente no llegan a causar problemas que inhabiliten la estructura, sin embargo en las armaduras de refuerzo del hormigón estos problemas son más acusados.

b) *Factores geométricos*: Las fluctuaciones del nivel de mar pueden provocar que una parte del hormigón esté siempre sumergida o sometida a alternancias inmersión-emersión. La presión de cristalización de sales en el hormigón es importante si una cara de la estructura está sometida a condiciones de humedad y la otra a condiciones de secado.

c) *Factores físicos*: Los ciclos de hielo-deshielo. La temperatura activa estas las reacciones.

d) *Factores mecánicos*: La energía cinética del oleaje y de los materiales sólidos transportados.

Estos diferentes factores podrían ir acompañados también por factores biológicos. De tal modo que cada una de estas acciones provoca un aumento de la permeabilidad del hormigón, lo que constituye que progrese el ataque de la causa inicial y el de los demás tipos de acción. El tipo y grado de ataque al hormigón en ambientes marinos depende de las condiciones de exposición. Las estructuras en ambiente marino pueden clasificarse según su ubicación y las condiciones agresivas del medio, en las siguientes zonas, cuyas fronteras en la realidad no son definidas: [20].

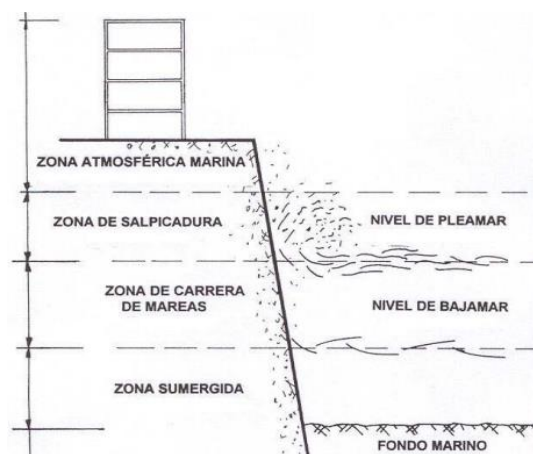


Fig. 2.21. Clasificación zonas de influencia de la corrosión. (

<http://www.monografias.com/trabajos72/tecnologia-hormigón/tecnologia-hormigón.shtml>)

Zona Sumergida: Situada por debajo del nivel mínimo de bajamar.

Zonas de Carrera de Mareas: Situada entre los niveles de Pleamar y Bajamar

Zona de Salpicaduras: Por encima del nivel de marea alta (pleamar), propensa a la salpicadura de olas y baño de espuma.

Zona Atmósfera marina: Situada por encima del nivel de pleamar y con influencia hasta 5 Km. de la línea costera.

Zona Sumergida: En este caso, el hormigón se encuentra permanentemente saturado y es capaz de proteger las barras de acero de refuerzo debido a que la débil concentración de oxígeno en el agua impide la actividad corrosiva del ión cloruro, en el caso de haberse introducido hasta las barras.

En las zonas sumergidas, la penetración del agua tiene lugar inicialmente por succión capilar y se acelera en razón de la presión hidráulica, el agua ingresa con sustancias disueltas como el cloro y los sulfatos. Por tanto el agua se introduce bajo presión cuando está a cierta profundidad y por absorción cuando se trate de hormigón por debajo del nivel de bajamar, de este modo los cloruros pueden avanzar rápidamente y profundizar mucho en el hormigón ya que el medio de transporte del mismo es la permeabilidad. Pero al estar saturado de agua no hay oxígeno por tanto lo único que se puede producir es una corrosión con productos poco expansivos. En este caso el comportamiento del hormigón se diferencia en función a la profundidad en la que se encuentre. Se considera ambiente pobre en oxígeno al situado a más de 1 metro de profundidad por debajo del nivel del mar.

Zona de Carrera de mareas: En esta situación el hormigón no llega a secarse, debido a que la inmersión es cíclica a lo largo del día. Los poros se encuentran saturados, pues, el tiempo de bajamar es reducido y no se produce desecación, lo que disminuye el riesgo de corrosión ya que el hormigón absorbe más rápidamente agua que la pierde. En esta zona los cloruros avanzan lentamente por difusión, pero con el tiempo pueden alcanzar el nivel de armaduras. Sin embargo, en esta zona tampoco hay oxígeno para generar la corrosión. En el hormigón comprendido entre mareas se puede producir fisuras que adelanten corrosión sea por golpes de impacto o por la acción de las olas.

Zona de Salpicaduras: Se ubica por encima del nivel de la marea alta, propensa a la salpicadura de las olas y el baño de la espuma, presenta el riesgo de ciclos alternados de humidificación y secado, de acuerdo a las condiciones de temperatura y humedad del medio, que pueden afectar severamente al hormigón.



Los cloruros pueden avanzar rápidamente por succión capilar, alcanzando así una determinada profundidad, a partir de la cual continúan profundizando por difusión. En esta zona si hay acceso de oxígeno y elevada humedad, por lo que el riesgo de corrosión es alto.

En esta zona de abundante oxígeno, la corrosión por cloro puede darse conjuntamente con la corrosión por carbonatación.

Zona Atmosférica marina: El hormigón no está en contacto con el agua de mar, pero recibe las sales procedentes de la brisa marina y la niebla salina. Puede comprender muchos kilómetros al interior de la costa dependiendo de las características de los vientos dominantes.

Las construcciones de hormigón ubicadas en el litoral o alrededores, son propensas a la corrosión por cloro en suspensión en la atmósfera, en forma de microscópicas gotas de agua de mar. En la niebla o aerosol la concentración salina de cloruros y sulfatos eventualmente puede ser mayor que en el agua de mar, debido a la gran dispersión de las gotas y la evaporación parcial de agua, en especial cuando la temperatura es alta y la humedad relativa es baja.

El avance es más lento que en el resto de las zonas, y tarda mucho tiempo en alcanzar las armaduras. Cuando esto sucede, se produce corrosión porque hay oxígeno y humedad accesibles. Pero antes se habrá originado la corrosión en las zonas de mayor riesgo.

Si adicionalmente el hormigón situado en las zonas de mayor riesgo antes mencionados, esta fisurado con anchura de fisura por encima de 0.4 mm a través de las fisuras, los cloruros avanzan muy rápidamente por absorción, alcanzando puntualmente las armaduras, y originando ánodos de corrosión localizada. Sin embargo, incluso en estas circunstancias puede no aparecer corrosión, si el hormigón del recubrimiento es de muy elevada calidad, y no permite el acceso de oxígeno y humedad para generar las zonas catódicas.

Por lo tanto el riesgo de corrosión varía ostensiblemente según el área donde se encuentre el elemento de hormigón como puede verse en el siguiente gráfico:

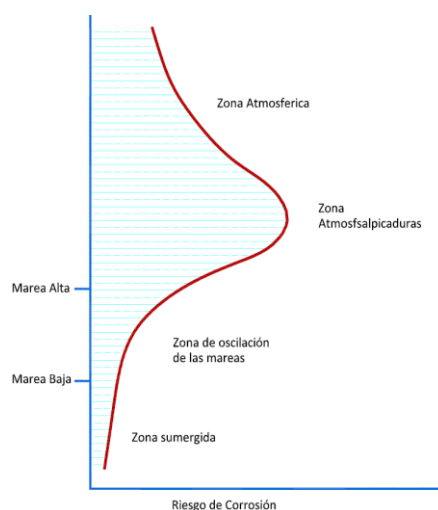


Fig. 2.22. Riesgo de corrosión (Elaboración propia)

RIESGO DE CORROSIÓN

En el siguiente gráfico se muestra el riesgo de sufrir un ataque corrosivo según la zona donde se encuentre el elemento, así podemos apreciar que el riesgo mayor se encuentra en la zona de salpicaduras al presentar en esta un elevado contenido en oxígeno y en cloruros provenientes del agua de mar. Asimismo este no se encuentra totalmente saturado por lo que la presencia de oxígeno permite el inicio de la corrosión de las armaduras. Igualmente, la brisa marina conduce altos contenidos de cloruros que se quedan adheridos al elemento.

A partir de aquí el riesgo va descendiendo, teniendo en cuenta que la presencia de cloruros disminuye al ser aportada únicamente por la brisa marina. Aun así este se mantiene en niveles más altos que en el resto de zonas inferiores que están permanentemente saturadas, en las que el nivel de oxígeno disminuye por tanto el riesgo de corrosión desciende proporcionalmente.

EL ATAQUE POR SALES IÓN CLORURO

El principal proceso de degradación del hormigón armado en ambiente marino es la corrosión de las armaduras por la acción de los cloruros del agua del mar. Esto es causado por la presencia en la superficie del acero de una concentración de iones cloruro superior a la concentración crítica. Por lo tanto podemos afirmar que los iones cloruro son los principales causantes de la corrosión de las armaduras en estructuras expuestas al ambiente marino y en estructuras construidas con hormigones contaminados.

Existen dos formas de que el ión cloruro se encuentre en el hormigón:

- En el primer caso los iones cloruro pueden penetrar desde el exterior a través de la red de poros del hormigón.
- En el segundo, se incorporan al hormigón como contaminante de alguno de los componentes de la mezcla (agregados fino o grueso, agua, aditivos, etc.).

El primer caso suele darse en zonas de ambientes marinos o cuando se utilizan sales para el deshielo de carreteras o puentes, en climas fríos.

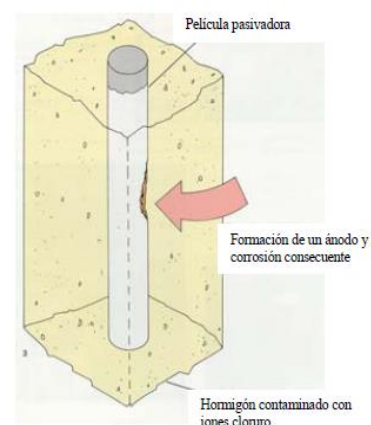


Fig. 2.23 : Penetración de cloruros



Fig. 2.24: Corrosión por penetración de cloruros marinos. (Elaboración propia) (Castillo de San Sebastián. Cádiz)

Estos iones se disuelven en el agua que contienen los poros y avanzan hacia el interior por difusión u otros mecanismos de transporte. Sin embargo, los iones cloruro disueltos en los poros pueden interaccionar con las fases sólidas del hormigón quedando inmovilizados, por tanto, el cloruro dentro del hormigón puede encontrarse en varios estados: [16]

- **Cloruro libre**, es el que permanece disuelto en el agua que contiene los poros. Se desplaza por el interior del hormigón mediante difusión u otros mecanismos.
- **Cloruro ligado**: es el que permanece unido a las fases sólidas del hormigón. Este cloruro queda inmovilizado, sin posibilidad de moverse hacia el interior del hormigón.
- **Cloruro total**: es la cantidad total de cloruro que contiene el hormigón, sin hacer distinción entre cloruro libre y ligado. Así, la concentración de cloruro total en un hormigón es igual a la suma de concentraciones de cloruro libre y ligado.

El cloruro libre es el más peligroso ya que al quedar disuelto en el agua de los poros, es capaz de despasivar la armadura e iniciar su corrosión, localizándose en determinados puntos del acero. [2]

CLORURO DENTRO DEL HORMIGÓN

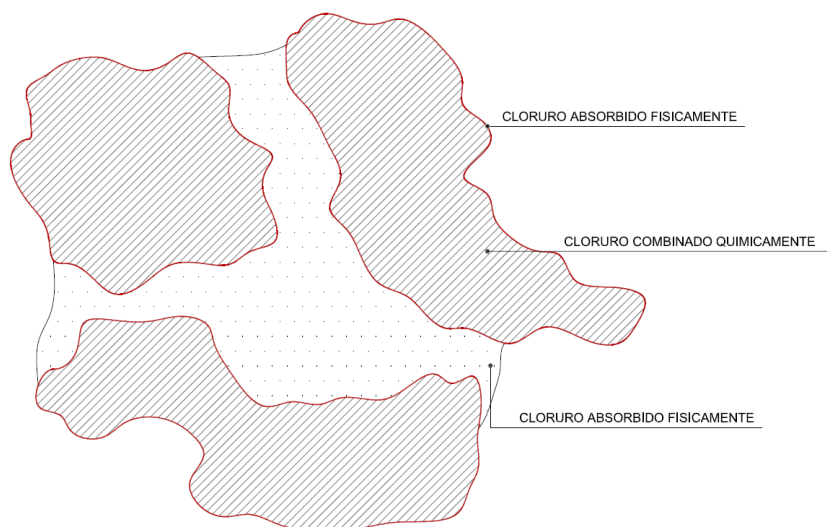


Fig. 2.25: Estado del ion cloruro dentro del hormigón (Elaboración propia)

Es muy importante conocer la capacidad de ligar cloruros de cada hormigón. Los que son capaces de ligar muchos cloruros, son menos susceptibles de sufrir la corrosión de sus armaduras.

También debe tenerse en cuenta, que aunque el cloruro ligado no puede inducir la corrosión de las armaduras, sí que puede ser liberado en determinadas circunstancias. Por ejemplo, la carbonatación del hormigón produce la liberación del cloruro ligado, pasando éste a ser cloruro libre e incrementando, por tanto, el riesgo de corrosión. Además de un mecanismo de difusión que es relativamente lento, los cloruros y en general todas las sales, pueden penetrar mucho más rápidamente por un mecanismo de succión capilar, muy propio de ambientes de niebla salina existente en climas cálidos marinos, en los que los cloruros están suspendidos en las gotitas de humedad del aire.

En este fenómeno incide mucho la dirección predominante del viento y la insolación.

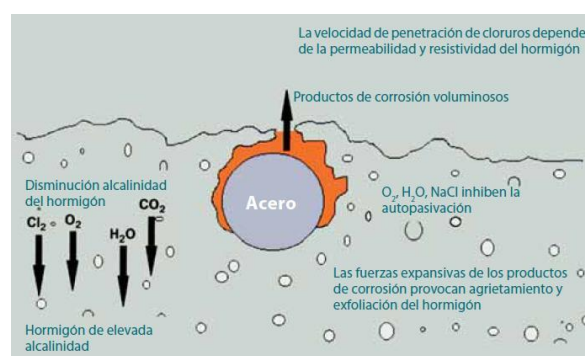
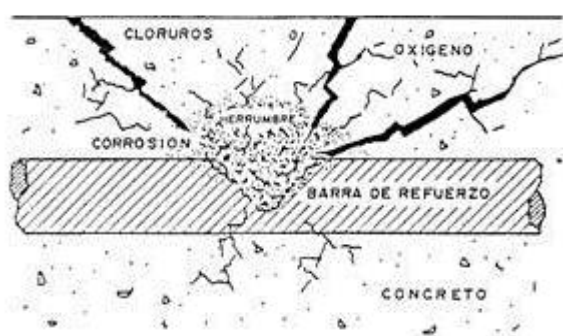


Fig. 2.26: Mecanismo ataque por cloruros.

(<http://civilgeeks.com/2011/12/11/durabilidad-del-hormigón/>)

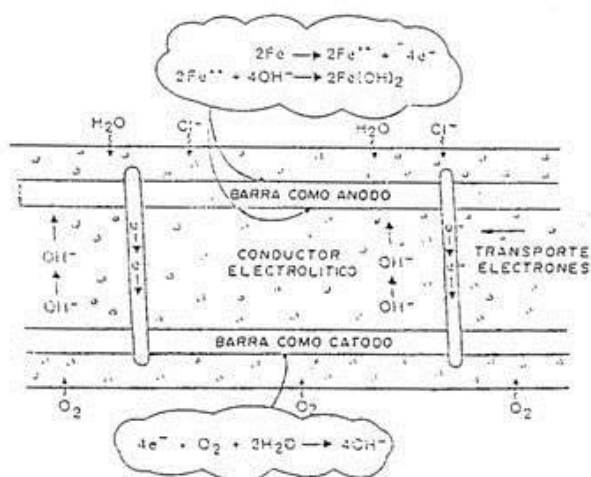


Fig. 2.27: Corrosión electrolítica del refuerzo en hormigón expuesto a cloruros y humedad. (<http://civilgeeks.com/2011/12/11/durabilidad-del-hormigón/>)

Como indican diversos estudios realizados, según el mecanismo de incorporación de los cloruros al hormigón armado aparecerán una serie de patologías disímiles entre si ya que variarán tanto el grado de activación como las dimensiones de fisuras y el tiempo que tardan en aparecer las mismas.

Todas las normativas limitan el contenido en cloruros en el hormigón fresco, pero estos límites varían de un país a otro. Ello es debido a la dificultad de establecer un límite seguro, por debajo del cual no exista riesgo de despasivación del acero, ya que este límite depende de numerosas variables, algunas de las cuales son: tipos de cemento (finura, contenido de yeso, contenido en aluminato tricálcico, etc.)[22], proporción de cemento, relación a/c, contenido de humedad, etc.

En España para el hormigón armado el límite lo fija la EHE en un 0.4 % respecto a la masa de cemento, y para el hormigón pretensado en un 0.2% respecto a la masa de cemento.

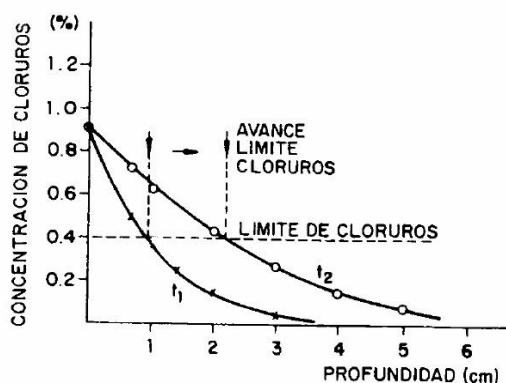


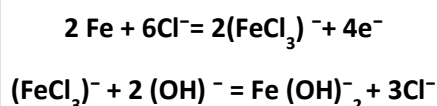
Tabla 2.4. Relación entre profundidad y concentración de cloruros en el hormigón.



PROCESO

La corrosión por cloruros, típica de los ambientes marinos, se debe al ión cloruro presente en el agua o en la niebla marina, que actúa como un catalizador para la oxidación, tomando parte activa en la reacción.

Al oxidar al acero para formar el ión complejo cloruro férrico, $(\text{FeCl}_3)^-$, arrastra este ión inestable en la solución, donde reacciona con los iones hidroxilo disponibles para formar hidróxido de hierro, $\text{Fe}(\text{OH})_2$ que libera iones cloro y consume iones hidroxilo como se esquematiza en las siguientes reacciones:



Los electrones liberados en la reacción de oxidación fluyen a través del acero hasta la superficie catódica. De este proceso resulta una concentración de ión cloruro y una reducción del pH que favorece la ruptura continua de la película de óxido pasivante.

El pH fuertemente básico del hormigón (aproximadamente 12,5) conduce a la formación de un "film protector" sobre las armaduras y, en estas condiciones, se dice que el acero está "pasivado"; esto es, aun en presencia de oxígeno y humedad, no se oxida. Pero los iones cloruro son capaces de "romper" este film pasivante y dejar al acero sin protección, dado que el cloruro ferroso (FeCl) forma un compuesto soluble con los óxidos de hierro que constituyen el film.

Una vez que se ha perdido la pasivación, el acero es susceptible de corroerse si están presentes todos los elementos necesarios: oxígeno, humedad y un medio (el hormigón) de baja resistividad eléctrica.

Por tanto como ya dijimos anteriormente, la presencia de iones cloruro en el hormigón puede deberse a dos situaciones diferentes:

a) ingresaron en el momento de preparación de la mezcla

b) ingresaron durante la vida en servicio del hormigón.

a) El primer caso es mucho más severo que el segundo, aunque con un adecuado control de los componentes de la mezcla es el más fácil de evitar. Las situaciones más comunes son que los iones cloruro integren el agua de amasado, constituyan una contaminación del agregado fino (arena de médano) o formen parte de los aditivos (particularmente aditivos aceleradores).

b) Este caso corresponde a situaciones típicas de hormigones en ambiente marino, en las que el ion cloruro ingresa lentamente desde el exterior y cuando alcanza las barras, se inicia el deterioro propiamente dicho (o la fase de propagación, tal como se definió anteriormente).

Se debe tener en cuenta que el ingreso del ión cloruro al hormigón está vinculado al transporte de fluidos en un medio poroso.

El ión cloruro reacciona con las fases aluminato para formar un compuesto relativamente insoluble conocido como **Sal de Friedel**. Este compuesto es levemente expansivo pero no es capaz de inducir tensiones severas que deterioren al hormigón. La formación de esta sal "inmoviliza" temporalmente los iones cloruro, reduciendo su movilidad para alcanzar a las armaduras y romper su condición pasiva.

Los procesos mediante los cuales se unen los cloruros a las fases sólidas, son tanto de tipo químico como de tipo físico [2]. El principal responsable de la unión química de los cloruros es el **aluminato tricálcico (C_3A)**.

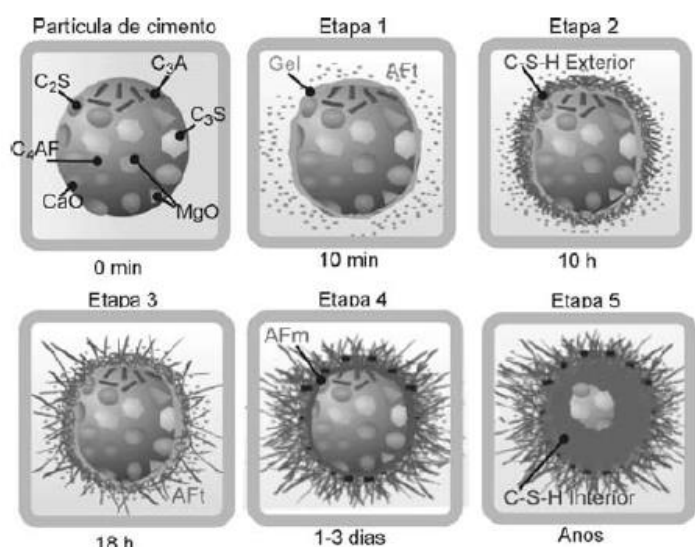
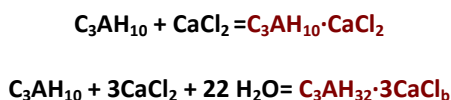


Fig. 2.28: Etapas de hidratación de una partícula de cemento polimérico. [23]

http://www.scielo.gpeari.mctes.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0870-83122009000200006&lng=pt&nrm=iso

Este componente del cemento reacciona con los cloruros de los poros, para formar el monocloroaluminato hidratado o "sal de Friedel" $C_3AH_{10} \cdot CaCl_2$ y el tricloroaluminato hidratado $C_3AH_{32} \cdot 3CaCl_2$ según las reacciones:



La unión física de los cloruros a las fases sólidas del hormigón se produce mediante el fenómeno conocido como absorción. Los cloruros disueltos en el agua de los poros se unen a la superficie de las partículas sólidas del hormigón. El principal sólido responsable de la absorción es el **gel CSH**, que durante la hidratación del hormigón precipita en forma coloidal presentando un área superficial muy elevada sobre la que se absorben los cloruros.

En resumen, el daño más severo asociado al ingreso de iones cloruro se produce en el hormigón armado, porque la corrosión del acero va acompañada de incremento de volumen, fisuración del hormigón y desprendimiento del hormigón de recubrimiento

El óxido de hierro no es resistente a la tracción, se debilita la adherencia entre hormigón y acero y, cuando la pérdida de la sección útil es significativa, puede llegar a producir el colapso de la estructura.

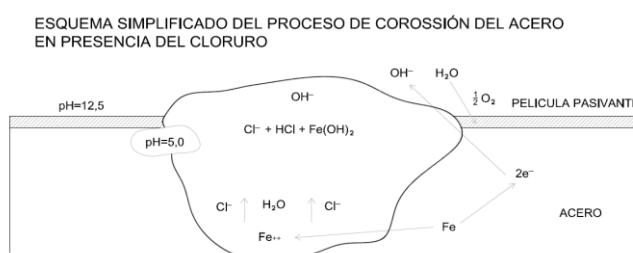


Fig. 2.29. Esquema simplificado del proceso de corrosión del acero en presencia de cloruros, propuesto por CEB – FIP (Comité Européen du Béton (CEB), 1990). (Elaboración propia)

El “riesgo potencial de corrosión” por iones cloruro depende de numerosos factores, pero se ha establecido un “umbral” de concentración por debajo del cual el riesgo es bajo.

Podemos establecer que el mecanismo de penetración de los iones cloruros en el hormigón se produce por dos fases: fase 1 o periodo de iniciación y fase 2 o periodo de propagación.

El “periodo de iniciación” depende de la velocidad de penetración de los cloruros en el hormigón, en función de su calidad.

El “periodo de propagación” depende de la disponibilidad de oxígeno en el interior del hormigón, controlado por el tipo de ambiente en el que se encuentra, así como por la propia calidad del hormigón, en términos de permeabilidad al oxígeno y resistividad.

Por lo tanto uno de los factores que puede acelerar la corrosión es la proporción de cloruros o la relación ($\text{Cl}^- / \text{OH}^-$).

Como hemos dicho anteriormente la presencia de ión cloruro induce la despasivación de la armadura, pero además, cuanto mayor es esta proporción mayor puede ser la velocidad de corrosión. Esto es debido a que por un lado una mayor cantidad de cloruros aumenta el porcentaje de área atacada, y por otro, permite un mayor grado de acidificación local en las áreas corroídas, ya que este se combina con los iones hidroxilo que son los que le dan la alcalinidad al hormigón, reduciendo el pH de la zona circundante a las armaduras.

La distribución de cloruro en estructuras de hormigón en general se modela como un proceso de difusión pura en estado no estacionario, aplicando los postulados de la segunda ley de Fick [4-6], y en función de un coeficiente de difusión constante. [24]

Para muchos procesos de transferencia de masa entre fluidos alrededor de partículas sólidas, el coeficiente de difusión muestra una gran dependencia con la concentración. En particular, en sistemas de absorción con isothermas no lineales, se han encontrado analogías entre éstas y la relación funcional del coeficiente de difusión y la concentración [9-11].

Así, para el análisis de la distribución de cloruros en estructuras de hormigón armado se propone un modelo de transferencia de masa basado en la 2ª Ley de Fick con un coeficiente de difusión variable con la concentración, $D = f(C)$ de acuerdo a los modelos reportados en la literatura.

Como hemos comentado existe consenso en asumir que la penetración del ion cloruro en el hormigón responde a la 2ª ley de difusión de Fick, que se expresa como:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D_c \frac{\partial^2 c}{\partial x^2}$$

Dónde:

C es la concentración de cloro a una profundidad x después de un tiempo t y D_c es el coeficiente de difusión.

Una solución general de esta ecuación diferencial es:

$$C(x,t) = C_o \left[1 - \operatorname{erf} \frac{x}{\sqrt{4D_c t}} \right]$$

Dónde:

C_o = la concentración de equilibrio de cloro de la superficie del hormigón
 erf = función de error.

Esta expresión es ampliamente utilizada para encontrar los coeficientes de difusión D en estructuras reales.

La experiencia indica que la mayor parte de la penetración ocurre en los estadíos iniciales y que los valores del coeficiente de difusión son siempre altos en los primeros seis meses, reduciéndose a lo largo del tiempo.

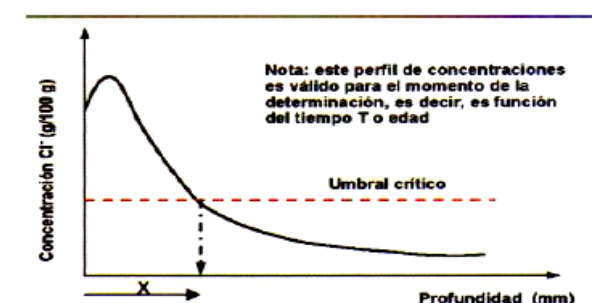


Fig. 2.30. Perfil de penetraciones de iones cloruro, identificando la posición del umbral crítico. [25].

<http://www.icpa.ar/publico/files/rev27ion.pdf>.

Los cementos Portland con relaciones a/c (agua/cemento) de **0,4 a 0,6** ofrecen valores de coeficiente de difusión del orden de **$0,1 \times 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{s}$ a $10,0 \times 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{s}$** . [14]

2.2.1.4 ATAQUE POR SULFATOS

El ataque de los sulfatos constituye una de las formas más difundidas en el mundo de agresión química al hormigón.

Los efectos negativos del ataque por sulfatos se atribuyen generalmente a la formación de ettringita expansiva y yeso, que precipitan en el interior por un mecanismo de disolución-precipitación.

El ataque de sulfatos ocurre donde hay concentraciones relativamente altas de sulfatos de sodio, potasio, calcio o magnesio, tanto en suelos como en aguas subterráneas, superficiales o en aguas de mar. También pueden ocurrir asociados a algunas instalaciones industriales, desechos, aguas fecales o subproductos de cualquier tipo, acumulados de forma incontrolada.

Hay que tener en cuenta que los sulfatos son muy solubles en agua y penetran con facilidad en estructuras de hormigón expuestas a los mismos.

Este proceso está asociado sobre todo a rocas y procesos volcánicos, rocas y minerales de origen evaporítico y alteración de sulfuros asociados a yacimientos minerales, tenemos importantes concentraciones de yeso, Glauberita, Thenardita, etc, en la mayoría de nuestros suelos. Dado que la presencia de sustratos y aguas sulfatadas en España es más que frecuente, deberán tomarse precauciones en la construcción de obras de hormigón.

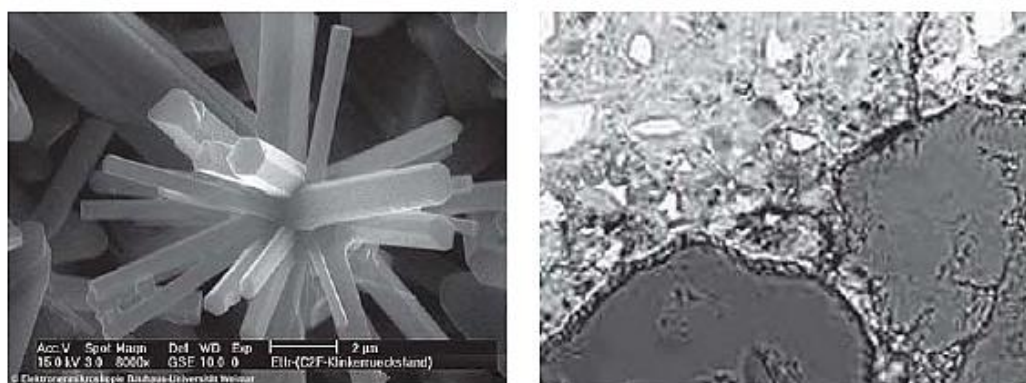


Fig. 2.31.: Cristal originado por sulfato a través del microscopio electrónico. [26]. AFAM. Morteros de Revestimiento 2006 Madrid

El cemento es un polvo finamente molido, compuesto principalmente por silicatos de calcio y en menores proporciones por aluminatos de calcio, que, mezclado con agua se combina con ella, fragua y endurece a la temperatura ambiente al aire o bajo agua.

El ataque de sulfatos se debe a la combinación de ión sulfato con el aluminato de calcio hidratado del cemento, formando **Ettringita** (sulfo aluminato de calcio) y con el hidróxido de calcio libre o liberado durante la hidratación del cemento, para formar yeso. Ambas reacciones producen expansiones fuertes, ya que tanto la **ettringita** como el yeso alcanzan un volumen mucho mayor que el de los depósitos reactantes que los formaron (presencia de agua en su estructura cristalina) y como consecuencia, ocasionan la erosión, disgregación y destrucción de los morteros y hormigones a través de sus poros por donde penetran.

Según el contenido de aluminato tricálcico (C3A) del clinker los cementos serán más o menos resistentes a los sulfatos.

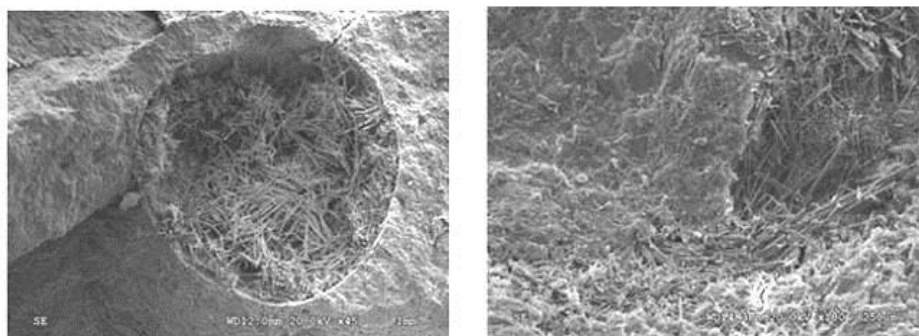


Fig. 2.32.: Ettringita relleno un poro / Ettringita rompiendo un árido (<http://www.monografias.com/trabajos72/tecnologia-hormigón/tecnologia-hormigón2.shtml>)

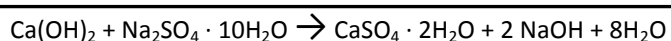
Como hemos comentado con anterioridad, este es un ataque muy común en la Península Ibérica puesto que en su subsuelo existe gran cantidad de yeso (CaSO_4 sulfato cálcico).

Por lo tanto, los sulfatos en contacto con el aluminato tricálcico contenido en el hormigón y con el agua, reaccionan dando lugar a unas sales de gran volumen que expansionan dentro del hormigón provocando su fisuración y rotura.

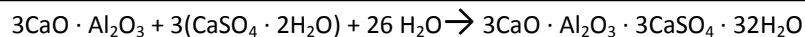
PROCESO

Los iones de sulfato que penetran en el hormigón tienen mayor afinidad para reaccionar con la portlandita (CH), que se forma como una de las fases principales del cemento durante el proceso de hidratación.

Como resultado de esta reacción se forma yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), según la siguiente reacción:



El yeso así liberado reacciona con el aluminato tricálcico (C3A) formando Ettringita sulfoenriquecida e insoluble: Este último producto es el llamado “bacilo del cemento” o **ettringita**. La única forma de evitar esta reacción en suelos o ambientes con presencia de sulfatos es emplear cementos con bajo contenido en aluminatos (sulfato - resistentes)



2.2.2 COMPOSICIÓN DE MATERIALES.

2.2.2.1 CEMENTO (EL PROCESO DE CARBONATACIÓN).

El hormigón está considerado como un material poroso, está constituido por la pasta de cemento, áridos, la zona de interfase pasta-árido y los poros de aire.

El proceso de hidratación de la pasta de cemento es un proceso fundamental a la hora de conocer las características propias del hormigón. El cemento está constituido básicamente por calcio, sílice, alúmina y óxido de hierro. Durante



su producción estos elementos reaccionan entre ellos formando productos más complejos llamados fases del Clinker [27].

En la siguiente tabla vemos los componentes del cemento Portland.

Nombre del compuesto	Composición	Nomenclatura
Silicato Tricálcico	3CaOSiO_2	C_3S
Silicato Dicálcico	2CaOSiO_3	C_2S
Aluminato tricálcico	$3\text{CaOAl}_2\text{O}_3$	C_3A
Hierroaluminato tetracálcico	$4\text{CaOAl}_2\text{O}_3\text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF

Tabla 2.5. Tabla composición del cemento Portland (Elaboración propia).

En la siguiente tabla elaborada por [A.M Neville, 1997] podemos ver los límites en los que se presentan los óxidos elementales de los diversos elementos presentes en los cementos Portland.

Óxidos	Porcentajes (%)
CaO	60-67
SiO_2	17-25
Al_2O_3	3-8
Fe_2O_3	0,5-0,6
MgO	0,5-0,4
Na_2O	0,3-1,2
SO_3	2,0-3,5

Tabla 2.6. Tabla límites óxidos en cemento Portland (A.M Neville, 1997)

El proceso de hidratación de la pasta se inicia a partir del contacto entre el cemento y el agua, alcanzando en menos de una hora el “inicio del fraguado” del cemento, que posteriormente se transformará en un sólido endurecido. Este proceso está compuesto por 3 fases tal y como podemos apreciar en el siguiente diagrama donde se expresa la velocidad de desprendimiento de calor con el tiempo de la mezcla. [G.C.Bye 1983]

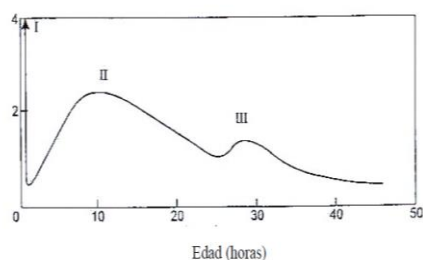


Fig. 2.33: Velocidad de desprendimiento de calor (J/sKg) en los 3 primeros días de hidratación del cemento. [G.C.Bye 1983]

La pasta de cemento finalmente endurecida está compuesta tal como indican los autores [I.Soroka, 1979] [A.M. Neville, 1997] por productos hidratados de diversos componentes, denominados genéricamente de gel, cristales de $\text{Ca}(\text{OH})_2$, ettringita, algunos compuestos menores, cemento no hidratado, y espacios residuales llenos de agua en pasta fresca. El desarrollo normal con el paso del tiempo es que los productos hidratados continúen llenando los poros y por tanto la porosidad vaya disminuyendo hasta alcanzar valores que dependerán de factores intrínsecos del material y del medio exterior que influyen en el grado de hidratación tales como: la composición, la finura, la relación agua-cemento, la compactación, el curado en las primeras edades, la edad, y la existencia de adiciones minerales. [27]

En la matriz de base cemento se distinguen los siguientes componentes: pasta de cemento, áridos, interfase árido-pasta e interfase acero-pasta. La pasta de cemento endurecida se divide principalmente en 3 partes (sólido, porosidad y fase acuosa).

Sólido: Los principales componentes son el cemento anhidro, el gel de silicatos cálcicos hidratados (Gel C-S-H), el hidróxido cálcico (CH), y el sulfoaluminato cálcico hidratado.

Porosidad: La porosidad de la pasta de cemento disminuye con el tiempo debido a los procesos de hidratación, no obstante el volumen de vacíos sigue perdurando en el material y la distribución de su tamaño y su conexión influirá en la transferencia de material en el medio poroso.

Fase acuosa: El agua en la pasta de cemento endurecida presenta disueltos tanto iones provenientes del cemento (OH^- , SO_4^{2-} , Na^+ , K^+ , Ca^{2+}) como los que hayan podido penetrar desde el exterior (Cl^-), según concentraciones dadas por su equilibrio con las fases sólidas [Longuet y col, 1980][27]

El contenido de agua en su estado libre influye en procesos de deterioro relacionados con la corrosión [Sarriá, 1998: Castillo 2005], y su volumen variará en función de dos factores: la Temperatura (T) y la Humedad relativa (HR) interior, y la condensación del vapor de agua en los poros se da según el radio de estos desde el menos al de mayor tamaño.

Por tanto los tres parámetros básicos que controlarán el contenido de agua en el hormigón serán la humedad relativa interior, la temperatura y el radio del poro existente.

Tal y como hemos explicado, en un hormigón, son determinantes tanto el tipo de cemento usado como su dosificación, ya que el cemento es el que aporta la alcalinidad necesaria para que el hormigón pueda proteger a las armaduras frente a la carbonatación.

La clase de cemento a escoger es también muy importante de cara a la futura degradación del hormigón, puesto que no será la misma según el ambiente al que vaya destinado el hormigón.

EL FENÓMENO DE LA CARBONATACIÓN

La carbonatación es una alteración superficial del hormigón por acción de la atmósfera que implica una pérdida de su capacidad protectora sobre las armaduras y en nuestro país constituye una de las principales causas de deterioro de las estructuras de HA.

La carbonatación es el proceso por el cual el hormigón de recubrimiento pierde la alcalinidad que mantiene protegida la armadura. El mecanismo por el cual se produce es la reacción del dióxido de carbono de la atmósfera con las sustancias alcalinas de la solución, por lo tanto la alcalinidad de un hormigón se ve afectada por los efectos de las reacciones causadas por atmósferas contaminadas con anhídrido carbónico desprotegiendo a la armadura. Se trata de un caso especial de ataque ácido de excepcional importancia en la durabilidad del hormigón.

Se produce avanzando desde el exterior. Las posibilidades de difusión de la carbonatación están en relación al tiempo y a la profundidad. El espesor del recubrimiento incide en la acción de estas variables. Por lo tanto, un hormigón puede presentar varios niveles de penetración de la carbonatación que estaría relacionado con la calidad del hormigón en cuestión.

Inicialmente, las armaduras están protegidas frente a riesgos de oxidación por el recubrimiento y por la presencia del hidróxido de calcio. En esta situación el pH está entre **12,5 y 13,5** [28].

Cuando la humedad ambiental mezclada con anhídrido carbónico penetra por los poros, el hidróxido cálcico se transforma en carbonato, disminuyendo la alcalinidad a un pH de valor **8 ó 9**: En este caso ya no es suficiente para proteger la armadura, comenzando la oxidación.

Por tanto, el descenso del pH del hormigón, provoca un ascenso de la velocidad de corrosión de las armaduras

El mecanismo de reacción es relativamente complejo e intervienen en él, la cantidad de sodio y potasio presentes en el cemento.

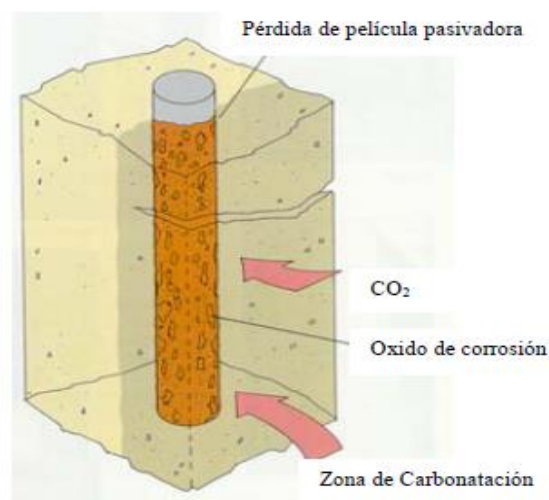


Fig. 2.34. Proceso de Carbonatación

PROCESO

La carbonatación del hormigón se inicia con la reacción de la portlandita u hidróxido de calcio del cemento con el CO_2 de la atmósfera (generalmente en concentraciones entre 600 y 800 mg/m^3), que reduce la alcalinidad del hormigón y disminuye su eficacia en la protección del refuerzo. Este efecto reduce el pH en la solución de los poros hasta valores cercanos a neutros (7,5 – 8), dejando a la armadura en unas condiciones que permiten la corrosión activa de la misma. El producto de la reacción es mayoritariamente carbonato cálcico (CaCO_3).

El proceso comienza sobre la superficie del hormigón y se propaga lentamente en profundidad. Al colmar los poros, tiene una influencia positiva en el material, aumentando la resistencia mecánica y la durabilidad del hormigón, haciendo las veces de protección natural contra la penetración de gases y líquidos. Así podemos concluir que sólo el hormigón en masa dispone entonces de las ventajas de la carbonatación.

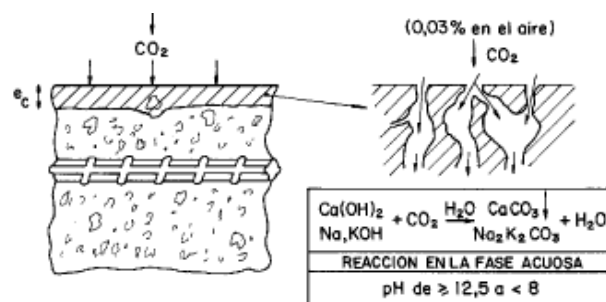
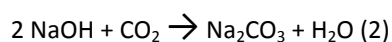


Fig. 2.35. Carbonatación del recubrimiento de hormigón. [15].

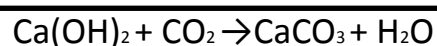
(Sánchez de Rojas Noguera, María José, 2004)

Inicialmente, el CO_2 reacciona con los hidróxidos de sodio y de potasio, procedentes del cemento Pórtland, de acuerdo con las ecuaciones (1) y (2), los cuales por ser los alcalinos más solubles de la pasta de cemento, normalmente se encuentran ya disueltos como iones.

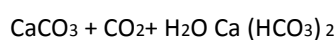
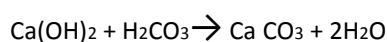


Posteriormente, reacciona el CO_2 con el hidróxido de calcio de solubilidad menor que los otros alcalinos del cemento, encontrándose normalmente en forma de cristales. Como resultado de estas reacciones se originan los carbonatos.

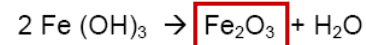
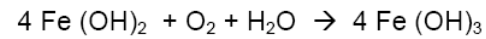
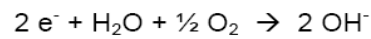
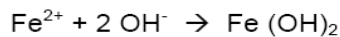
Las reacciones tienen la siguiente forma:



Ó alternativamente:



Esto provoca el descenso del $\downarrow \text{pH}$, por lo tanto las armaduras dejan de estar protegidas



De esta manera, se producen óxidos expansivos que producen la rotura de la pieza

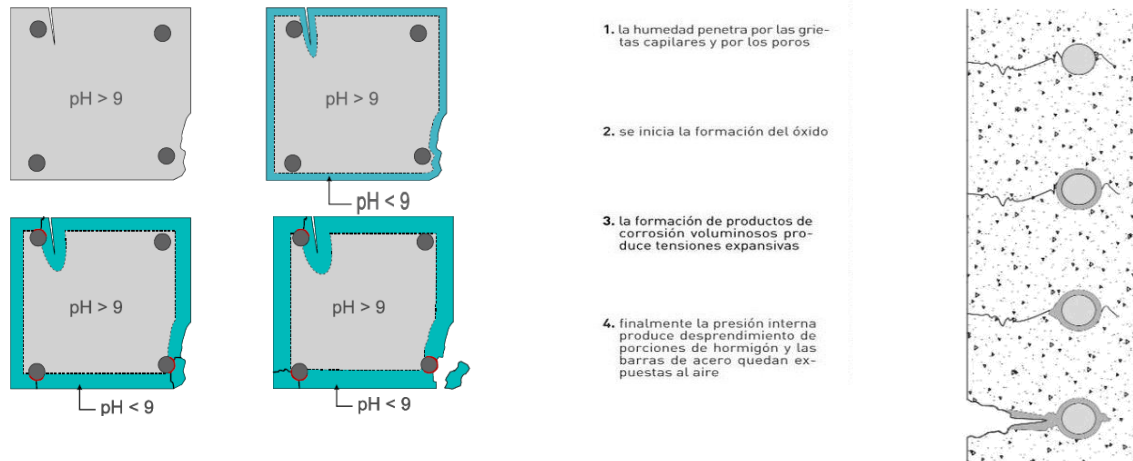


Fig. 2.36 Formación grietas consecuencia Carbonatación hormigón.

Cuando todo el $\text{Ca}(\text{OH})_2$, KOH y NaOH presentes en los poros ha sido carbonatado, el pH empieza a decrecer. Al mismo tiempo los silicatos de calcio también reaccionan con el CO_2 del aire. Tan pronto como todo el cemento endurecido ha sido completamente carbonatado, se mide un pH menor de 9.

Una de las características de este proceso es la existencia de un frente de avance que separa el hormigón en dos zonas con valores de pH muy diferentes, una de $\text{pH} > 12$ y otra de $\text{pH} < 9$.

El frente de carbonatación se puede comprobar aplicando sobre el hormigón un indicador que se conoce como fenolftaleína. Si la superficie permanece alcalina toma color rojo-púrpura, y si la zona está carbonatada la fenolftaleína se vuelve incolora.



Fig. 2.37 Extracción de testigos de hormigón con carbonatación. Songea (Estudio El Castillito Sanlúcar de Barrameda, Cádiz.2014)



Fig. 2.38 Catas para determinar el estado de carbontación de una Losa de Cementación. (Estudio Vorsevi para Canal Calzas Anchas. Utrera.2014).

La carbonatación es un proceso de difusión y por lo tanto su avance en el interior del hormigón progresa atenuándose en el tiempo.

Debido a que la corrosión por carbonatación es generalizada, la fisuración se presentará sobre toda la longitud del elemento de hormigón y paralela a las armaduras. Generalmente aparecerá alrededor de los 20 años de vida para recubrimientos de 20-25mm, lo que indica que la velocidad de corrosión es en general bastante baja. El agrietamiento del recubrimiento aparece en fases posteriores. Así por ejemplo, con un contenido de cemento de 300 a 350 Kg/m³, aseguramos que el frente de carbonatación se detenga a una profundidad de 6 - 14 mm si no hay porosidad elevada.

Para que tenga lugar la carbonatación, es necesaria la presencia de humedad. La reacción de carbonatación avanza más rápidamente cuando la humedad relativa se encuentra entre el 50 y el 70 %. Si la humedad es menor, no hay suficiente agua en los poros del hormigón para que se disuelvan cantidades significativas de hidróxido de calcio. Por encima del 75%, la situación se revierte y los poros se bloquean progresivamente por la presencia del agua. La permeabilidad del hormigón influye negativamente en el proceso de carbonatación, ya que el hormigón permeable se carbonatará rápidamente. Por lo que la porosidad existente en la mezcla es fundamental al tratarse la carbonatación de un proceso de difusión

Por lo tanto el avance de la carbonatación es un proceso lento, cuya velocidad se atenúa con el tiempo, ajustándose a una ley parabólica como se muestra en el gráfico inferior.

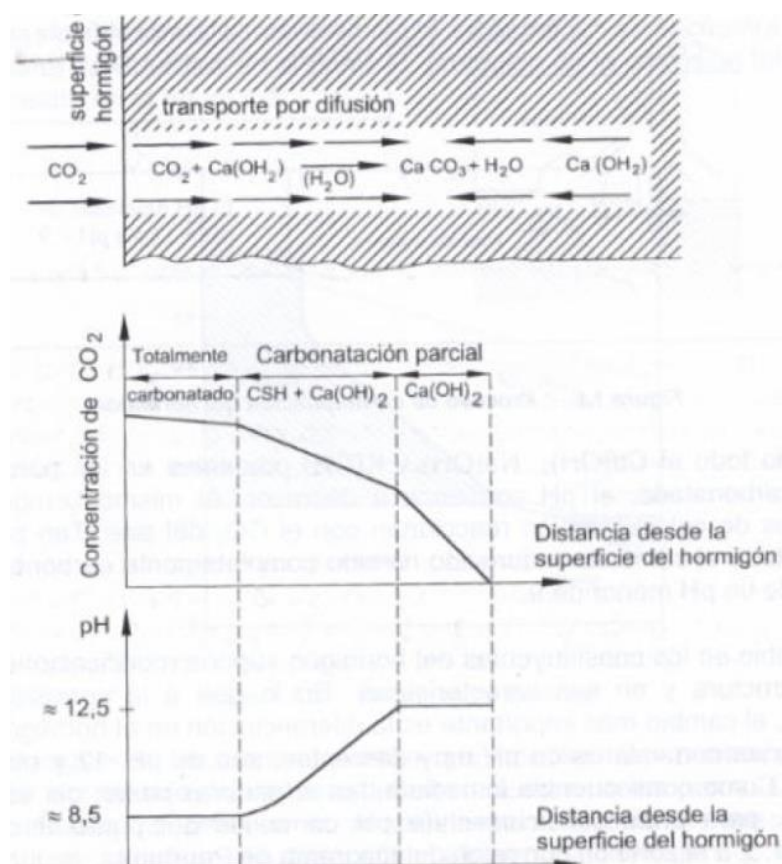


Fig. 2.39 Modelo simplificado del tiempo de avance Corrosión Carbonatación

El desarrollo de la carbonatación depende de diversos factores, entre los que se pueden enumerar los siguientes:

- Contenido de CO_2 en la atmósfera.
- Permeabilidad del hormigón
- Cantidad de sustancia carbonatable (contenido y tipo de cemento)
- Humedad relativa del ambiente.

El aumento de la relación agua/cemento favorece el proceso de carbonatación, al proporcionar hormigones más permeables/porosos. En cuanto a la humedad, en hormigones secos o completamente saturados no es posible que se produzca carbonatación, produciéndose la penetración máxima de CO_2 atmosférico en el hormigón a humedades comprendidas entre el 50% y el 70%.

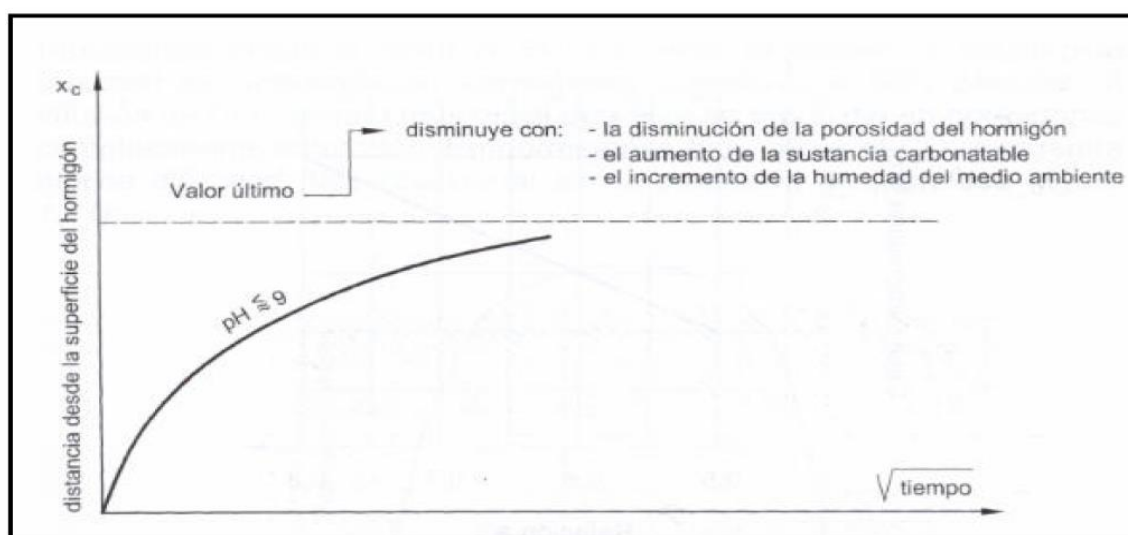


Fig. 2.40 Avance de la corrosión en función del tiempo

Se acepta que los primeros síntomas aparecen cuando la profundidad de corrosión en el acero ha alcanzado los 100 μm [29].

La corrosión por carbonatación del hormigón presenta dos periodos diferenciado

Se llama “período de iniciación o incubación” (**t_i**) de la carbonatación al tiempo que tarda en llegar el frente carbonatado hasta la armadura. Este periodo depende básicamente del espesor y de la calidad del recubrimiento [30].

El Periodo de Propagación (**t_p**) corresponde al proceso de corrosión de la armadura un vez llega el frente al acero ya que la capa pasivante de éste se destruye, puesto que al estar el hormigón carbonatado, el pH se sitúa alrededor de 7 perdiendo su protección alcalina. Por tanto el acero se corroe de forma generalizada, tal y como si estuviera simplemente expuesto a la atmósfera sin ninguna protección, pero con el agravante de que la humedad permanece

en el interior del hormigón y por tanto en contacto con la armadura mucho más tiempo que si ésta estuviera libremente expuesta al aire, ya que el hormigón absorbe humedad muy rápidamente, pero se seca muy despacio.

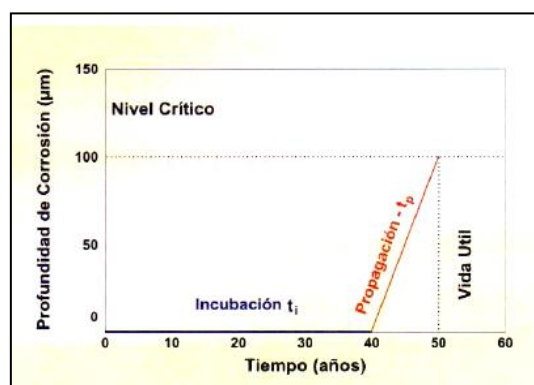


Fig. 2.41: Periodo de incubación y propagación. [30]. <http://www.icpa.org.ar/publico/files/rev25durabest.pdf>

Este periodo está caracterizado por un tiempo (**tp**) que es el necesario para que el fenómeno de corrosión alcance los 100 µm de profundidad del acero y de esta manera empiecen a manifestarse las fisuras visibles, sin que estas produzcan aun un desprendimiento del recubrimiento.

Este tiempo depende de la humedad relativa en el hormigón de recubrimiento ya carbonatado y la conductividad eléctrica del hormigón. Por tanto la vida útil de servicio será la suma de estas dos variables.

$$V_{\text{util}} = t_j + t_p$$

Así el tiempo de propagación (**tp**) se estima en función de la Humedad relativa (HR) prevista para una condición de exposición determinada, y el tiempo de incubación/iniciación (**tj**) se obtiene por diferencia a la vida útil del proyecto (indicada por el proyectista).

Como diferencia entre los dos tipos de ataque por difusión que sufre el hormigón armado, podemos constatar que la carbonatación induce una corrosión generalizada en el acero mientras que la presencia de cloruros produce una corrosión localizada en la armadura. La corrosión se puede identificar fácilmente por la presencia de manchas de óxido en la armadura y la aparición de fisuras paralelas a la dirección de las barras de armado.

La velocidad de avance del frente de carbonatación puede estimarse dado que el ingreso de CO₂ es un proceso de tipo difusivo, como hemos comentado con anterioridad, de tal manera que podemos estimar que el espesor de la capa carbonatada es proporcional a la raíz cuadrada del tiempo. (Primera ley Fick) [31][32]

$$x_c = k \cdot t^{1/2}$$

**nota: Para hormigones expuestos a la intemperie (mojado y secado frecuentes), la velocidad de carbonatación suele ser sensiblemente inferior a la indicada por la expresión anterior.*

Esta proporcionalidad se expresa como una ecuación si conocemos el valor de la constante **K** ó constante de carbonatación, la cual depende de 4 parámetros:



- Concentración CO_2 en el aire
- Permeabilidad hormigón de recubrimiento
- Humedad relativa del hormigón del recubrimiento (según la Humedad relativa del ambiente y la calidad del material).
- El contenido de óxido de calcio (CaO) en la pasta de cemento hidratada del recubrimiento (según el contenido de cemento en el hormigón, grado de hidratación y del tipo de cemento).

La constante de carbonatación se define por tanto como:

$$k = \left[\frac{2 \cdot D \cdot C_s}{M} \right]^{1/2}$$

Donde **D** es el coeficiente de difusión efectiva del CO_2

C_s es la concentración de CO_2 sobre superficie externa del hormigón (en moles por unidad de volumen de aire),

M es el número de moles de CO_2 necesarios para carbonatar un volumen unitario de hormigón.

Por lo tanto podemos indicar que la distancia del frente carbonatado **X_c** es proporcional a la raíz cuadrada del tiempo de exposición. De tal manera que si se mejora la calidad del hormigón se podría reducir el valor de la constante **K** y retrasar el avance del frente de carbonatación lo que mejoraría la vida útil de la estructura.

Como factores que influyen en la carbonatación hay que tener en cuenta que:

- a) El aumento en la relación agua/cemento favorece el proceso de carbonatación al aumentar la permeabilidad de los hormigones, sin embargo un aumento en la dosificación del cemento dificultaría el proceso.

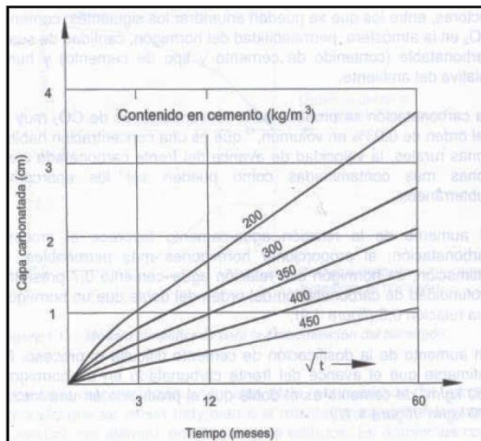


Fig. 2.42: Influencia contenido cemento en profundidad de carbonatación. [22]. (Alaejos Gutiérrez, M^a del Pilar. Bermúdez Odriozola, Miguel Ángel (2008).)

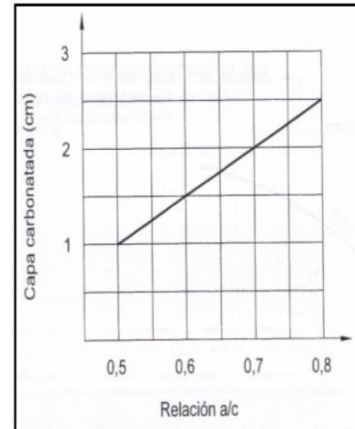


Fig. 2.43: Influencia de la relación a/c en la velocidad de carbonatación. [22].(Alaejos Gutiérrez, M^a del Pilar. Bermúdez Odriozola, Miguel Ángel (2008).)

b) Humedades relativas entre el 50 y 70% favorecen al máximo el proceso de carbonatación, pero más allá de estos se presenta un descenso en la efectividad de la reacción, llegando a valores nulos en hormigones completamente saturados.

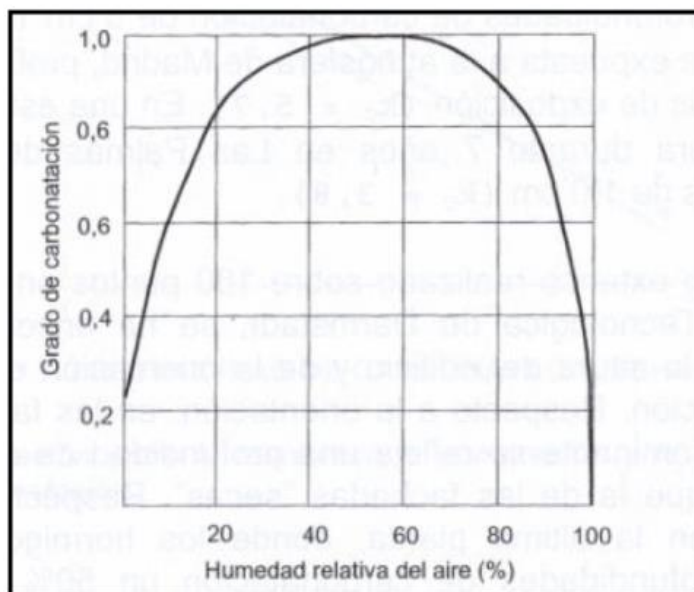


Fig.2.44: Influencia humedad relativa en profundidad de carbonatación. [22].(Alaejos Gutiérrez, M^a del Pilar. Bermúdez Odriozola, Miguel Ángel (2008).)



Fig. 2.45: Saltado del recubrimiento debido a corrosión generalizada por carbonatación. (Villa El Castillito. Sanlúcar de Barrameda, Cádiz).Elaboración propia

2.2.2.2 ÁRIDOS

Los llamados áridos reactivos son aquellos que por su composición son susceptibles de reaccionar con los álcalis del cemento o que contienen compuestos que en contacto con agua pueden producir degradación del hormigón (como las piritas que contienen sulfuros que se oxidan a sulfatos). Evidentemente éstos deben evitarse al dosificar el hormigón. También son inadecuados los áridos muy ricos en elementos finos, puesto que necesitan mayor cantidad de agua de amasado, lo que puede revertir en un aumento de la retracción durante el endurecimiento y por tanto en una fisuración.

2.2.2.3 RELACIÓN AGUA/CEMENTO

Como sabemos, la relación agua/cemento teórica de 0.3 no es suficiente para obtener una masa homogénea y trabajable, pero la adición de un exceso de agua de amasado en el hormigón implica en cualquier caso: un aumento de la porosidad, de la retracción y de la fisuración del hormigón endurecido y por lo tanto una disminución de las resistencias en general (tanto físicas como químicas). El uso de aditivos fluidificantes y superfluidificantes, que rebajan la relación agua/cemento necesaria para obtener buena trabajabilidad, se hacen prácticamente imprescindibles a la hora de conseguir un hormigón de elevada durabilidad.

2.2.3 OTROS FACTORES.

2.2.3.1 POROSIDAD Y FISURAS

Todos los poros y/o fisuras del hormigón son canales para la difusión de sustancias nocivas ya sean líquidas o gaseosas. Los poros pueden producirse por varios motivos: relación agua/cemento demasiado elevada (el agua en exceso se evapora ya que no tiene cemento que hidratar), mala compactación, mal curado.

Como vemos prácticamente cualquier error en la ejecución lleva a un aumento de la porosidad, y por lo tanto a un aumento de las posibilidades de degradación.

Las fisuras pueden ser o bien transversales o longitudinales (son las más desfavorables ya que presentan un radio de acción mayor).

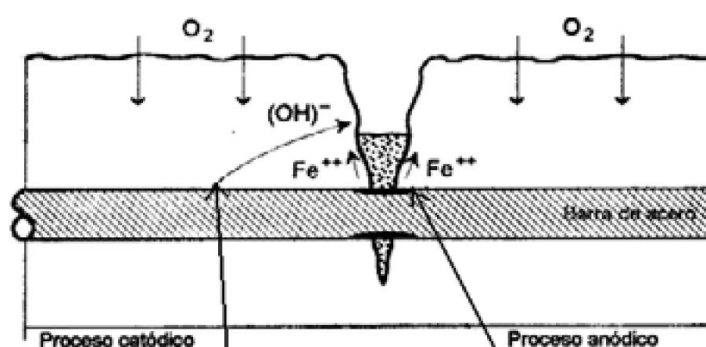


Fig. 2.46: Corrosión por fisuras transversales. [15]. Sánchez de Rojas Noguera, María José, 2004

Las normativas establecen unos rangos de abertura de fisuras máximo en la superficie de hormigón situada entre los 0,3 y 0,4 mm en ambientes no agresivos y de 0,1 mm en ambientes agresivos. Aun así se ha demostrado que para anchos de fisuras menores de 0,4 mm no se desarrolla el problema con gran celeridad puesto que la propia fisura se obstruye con los propios productos de la corrosión. [15]

2.2.3.2 COMPACTACIÓN

La colocación del hormigón dentro de los encofrados, puede resultar una tarea difícil si las formas son complicadas, y se necesita una buena compactación para conseguir que el hormigón llegue a todos los rincones de forma homogénea, ya que de no ser así, se formarían bolsas de aire y coqueas que representarían heterogeneidades en el hormigón endurecido.

Un hormigón poco homogéneo, es más fácil que fisure y tenga coqueas, puesto que no actúa como una masa única y las retracciones o dilataciones no son del mismo grado en todos los puntos, creándose tensiones y roturas.

2.2.3.3 CURADO

El curado del hormigón consiste en la protección de la superficie de éste, con plásticos, arpilleras húmedas o productos químicos filmógenos, para evitar que el agua de amasado pueda evaporarse y no hidratar correctamente al hormigón. Eventualmente puede realizarse el curado manual por regado de la superficie.

El curado es necesario sobretodo en condiciones de mucho viento, temperaturas elevadas y/o humedades relativas del aire bajas.

2.2.3.4 RECUBRIMIENTO DE LAS ARMADURAS

Como hemos visto en un apartado anterior, las armaduras se oxidan cuando pierde su protección alcalina debido a que el pH del hormigón que las envuelve disminuye por efecto de la carbonatación. También hemos visto que la carbonatación es un proceso que se inicia en la superficie del hormigón y que va penetrando en la masa del elemento progresivamente.

Estos son los motivos que hacen necesario que las armaduras se sitúen a cierta distancia de la superficie de forma que queden bien recubiertas por la masa de hormigón y por lo tanto bien protegidas.

De tal manera que el recubrimiento se convierte en una barrera física y química para retrasar en la medida de lo posible que el agente agresivo penetre y encuentre las armaduras.

2.2.3.5 MACROPARES GALVÁNICOS.

Se trata de pilas de corrosión generadas entre dos áreas distanciadas tan sólo unos centímetros. Una de ellas está corroída y actúa como ánodo, y la otra que actúa como cátodo permanece pasiva.

La macropila se forma a través de los estribos, y la corrosión empieza en las armaduras superiores, mientras que las inferiores permanecerán pasivas más tiempo. Cuando una situación como esta se produce sobre la estructura de hormigón, a la corrosión propia de las micropilas (debidas al ataque por cloruros) se suma la acción de la macropila, aumentando la velocidad de corrosión. El incremento que se produzca dependerá de los potenciales de corrosión del ánodo y del cátodo cuando empiece la acción de la macropila y de la resistencia óhmica entre ambos.

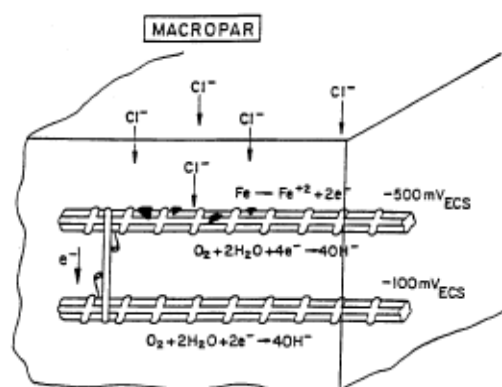


Fig. 2.47: Macropila en hormigón armado

2.2.4 ACCIÓN CONJUNTA

Si la carbonatación tiene lugar en un hormigón que contiene cloruros, los efectos de ambos agresivos se suman dando lugar a una fuerte corrosión. Además por efecto de la acción del CO_2 sobre las fases sólidas del cemento, los cloroaluminatos se pueden disgregar y dejar libres a los cloruros que se mantenían combinados [33] (Suryavanshi).

Una estimación del contenido crítico de cloruros en función de la calidad del hormigón, de su posible carbonatación y de las condiciones medio ambientales se muestra en la siguiente figura [28] (Schiessl).

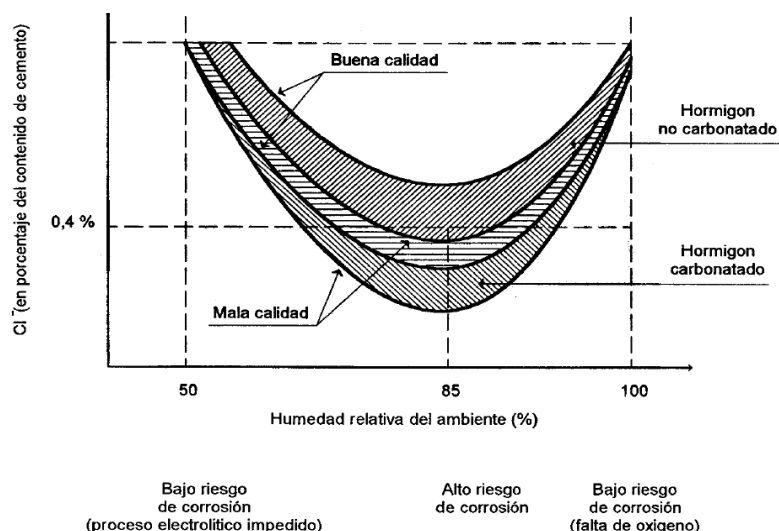


Fig. 2.48 Esquema del contenido crítico de cloruros en función de la humedad ambiente, la calidad del hormigón y su posible carbonatación. [28](Schiessl).

En el hormigón armado en contacto - permanente o intermitente- con agua de mar, los sulfatos y cloruros de calcio, magnesio y alcalinos, que se encuentran de forma inseparable, pueden penetrar por porosidad, capilaridad, ósmosis y difusión.

Los sulfatos atacan al hormigón formando compuestos expansivos causantes de fisuración. Los cloruros, si llegan hasta la armadura, causan la despasivación de ésta y provocan su corrosión.

La fisuración ocasionada por los sulfatos facilita la penetración de los cloruros y la corrosión de la armadura. De este modo, los productos expansivos de la corrosión dan lugar a pérdida de adherencia entre hormigón y armadura y la fisuración interna que se suma a la externa producida por los sulfatos, incrementando y acelerando ambas acciones.

Estos fenómenos, en principio pueden presentarse sucesivamente, iniciándose con la difusión del ión cloruro cuyo radio iónico es menor que el del sulfato, por lo que se difunde más rápidamente, terminando por ocurrir de forma simultánea, con superposición de causa y efecto.

De este modo, el ión sulfato, que penetra más lentamente que el cloruro en el hormigón, entra en contacto con el aluminato tricálcico anhidro si lo hay y con aluminatos de calcio hidratados del cemento.

Con los aluminatos anhidro e hidratado libres de sulfato se puede formar **Ettringita** expansiva (sulfo aluminato de calcio), al igual que ocurre con el cloroaluminato de calcio hidratado por razones de solubilidad. Esta transformación, libera aluminato tricálcico, que quedan pueden formar con el sulfato que lo ha liberado y con el que sigue penetrando, Ettringita secundaria y diferida, expansiva y más dañina aún que la primera, para un hormigón consolidado. Además, se liberan aniones cloruro, los cuales quedan aptos para seguir penetrando a las armaduras y provocan corrosión. [18]

También puede reaccionar con el hidróxido de calcio libre o liberado durante la hidratación del cemento para formar yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$).

Ambas reacciones producen expansiones fuertes ya que ambas ocupan un volumen mayor que los depósitos reactantes que los formaron

Los iones cloruros inhiben o atenúan en cierta medida la acción de los sulfatos, ya que dan lugar a un cloroaluminato de calcio hidratado que no es expansivo, o al menos no tanto como la ettringita. Pero en el caso de que el clinker contenga gran cantidad de aluminato tricálcico y el grado de saturación sea elevado, los cloruros existentes en el agua de mar no pueden evitar la formación de la ettringita, con sus consecuencias.

Actualmente el modelo de vida útil más utilizado respecto a la corrosión de las armaduras y citado en la mayoría de los textos es el propuesto por Tuutti [31].

Este modelo divide la vida útil en los dos periodos (como ya comentamos anteriormente), se define como “**periodo de iniciación**” al tiempo que tarda el agresivo en atravesar el recubrimiento, alcanzar la armadura y provocar su despasivación. Y “**periodo de propagación**” es el tiempo que comprende una acumulación progresiva del deterioro, hasta que se alcanza un nivel inaceptable del mismo.

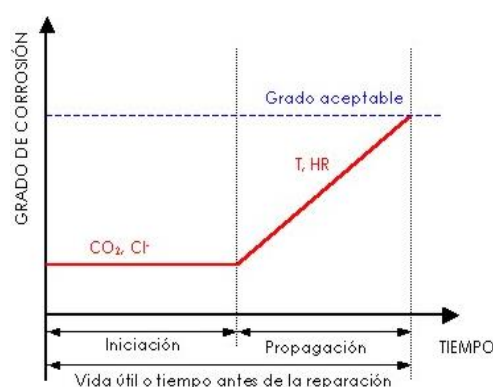


Fig. 2.49 Modelo de vida útil de Tuutti 1980. <http://faq.altoqi.com.br/content/277/680/pt-br/vida-%C3%BAtil-das-estruturas-de-hormig%C3%A3o.html>

La presencia de cloruros y la disminución de la alcalinidad del hormigón son los factores que actúan durante el periodo de iniciación (**factores desencadenantes**). Una vez han alcanzado la armadura, los factores que inciden en que el periodo de propagación sea más o menos rápido son el contenido de humedad y de oxígeno (**factores acelerantes**) del hormigón que rodea a la armadura, por lo tanto consecuentemente el riesgo de corrosión, está condicionado por el tipo de ambiente en el que se encuentra la estructura.



Durante el periodo de iniciación se emplean las relaciones de carbonatación y difusión de cloruros (si hay existencia del mismo)

$$x_c = K_c \cdot \sqrt{t}$$

X_c : Profundidad de la capa carbonatada en mm

K_c : Constante de carbonatación en $\text{mm}/^{0.5}$

Depende de la difusión, de la diferencia de concentraciones y de la cantidad de CO_2 reaccionando

t: Tiempo (edad del hormigón)

También se puede incluir el efecto de los cloruros basándose en la segunda ley de difusión de Fick.

Por lo tanto la acción conjunta de ambos agentes puede ocasionar un aumento en la velocidad de corrosión de estas estructuras.

2.3 SINTOMATOLOGÍA Y PATOLOGÍAS ASOCIADAS.

Inicialmente, en el proceso de la corrosión se producen una serie de elementos:

- a) Hidróxido ferroso Fe(OH)_2 de color verdoso, y con mayor grado de oxidación.
- b) Óxido ferroso-férrico, de color negro
- c) Hidróxido férrico Fe(OH)_3 , rojizo (por oxidación del hidróxido ferroso).



Fig. 2.50. Productos de Corrosión. (<https://es.wikipedia.org/wiki/Corrosi%C3%B3n>)

En los casos de suficiente disponibilidad de oxígeno, el deterioro del hormigón debido a la corrosión de las armaduras se manifiesta en forma de expansión, fisuración y pérdida del recubrimiento. Además el elemento de hormigón armado puede sufrir un daño estructural debido a la pérdida de adherencia entre el hormigón y el acero, y a la pérdida de sección de la barra.

La armadura al oxidarse, puede aumentar de volumen hasta más de 6 veces. Esto provoca fuerzas expansivas que pueden causar fisuración y desprendimiento en el hormigón, lo que puede llevar a roturas frágiles si las fisuras longitudinales a lo largo de las armaduras se producen en la zona de anclaje de las mismas.

La corrosión provoca además la reducción de la sección transversal de la armadura. La capacidad mecánica del acero se reduce siguiendo aproximadamente una relación lineal con la disminución de sección, mientras que las propiedades de elongación y resistencia a la fatiga pueden verse mermadas sustancialmente con pequeñas disminuciones en la sección transversal.

En la corrosión que se desarrolla en ambientes con baja disponibilidad de oxígeno (corrosión verde o negra), el volumen de los productos de corrosión puede ser solamente dos veces mayor que el volumen del acero.



Tal proceso de corrosión se desarrolla a baja velocidad y, en circunstancias especiales, los productos de la corrosión pueden difundirse dentro de los huecos y poros del hormigón sin causar fisuración y desprendimiento. En estos casos singulares, la corrosión de la armadura puede dar lugar a un fallo inesperado sin una manifestación exterior previa. Si hay circulación de agua, pueden aparecer en superficies las manchas de óxido en donde emerge la humedad, por lo que incluso a veces no coinciden con la situación de las armaduras.

Para un proceso de corrosión generalizada, las fisuras generadas en el hormigón por la expansión de los productos de corrosión se desarrollan más rápidamente (en anchura y longitud) que en aquellas generadas por corrosión localizada.

Resumiendo podemos considerar tres efectos derivados de la corrosión:

- a) Sobre el hormigón, cuando éste se **fisura** y se **desprende**.
- b) Sobre el acero, al producirse una **disminución** de su **capacidad mecánica** por **pérdida de sección transversal**.
- c) Sobre el sistema acero/ hormigón, al producirse una **pérdida de adherencia de las armaduras** embebidas en el hormigón.

Como consecuencia de la corrosión se produce un incremento del volumen de las armaduras provocando la aparición de elevadas tensiones que dan lugar a la fisuración del hormigón.

Este deterioro del hormigón hace que al continuar el fenómeno de la corrosión los agentes agresivos penetren en el interior del mismo con mayor facilidad. Pero no siempre se produce fisuración cuando las armaduras se corroen, si el hormigón está muy húmedo, los óxidos se generan a una velocidad constante y pueden emigrar a través de la red de poros y aparecer en la superficie en forma de manchas. Estas manchas pueden o no coincidir con la situación de las armaduras, ya que si hay circulación de agua aparecen donde emerge la humedad.

La corrosión generalizada se produce como un proceso que abarca a todo el metal que sufre el efecto corrosivo de forma homogénea y en toda su superficie, dando lugar a la formación de herrumbre con un incremento importante de volumen que se traduce en fuertes tensiones en el hormigón

Por lo tanto es muy importante señalar la influencia de la fisuración en el proceso de corrosión, ya que la fisura supone un camino de acceso a la armadura de los agentes agresivos, en particular del anhídrido carbónico (CO_2) y de los cloruros (Cl^-), mucho más rápido que la estructura porosa de recubrimiento.

El ancho de fisura tiene importancia en la iniciación de la fisuración y en la rotura de la capa de pasivación. Después de la despasivación, en fisuras hasta 0,4 mm, se reduce la influencia del ancho de la misma en la velocidad de corrosión.

En líneas generales, para anchos pequeños de fisuras, es más importante para la velocidad de corrosión la reducción del recubrimiento que el ancho de la fisura. [35]

En las fisuras transversales se dan a veces problemas de ‘cicatrización’ por relleno con polvo del ambiente. En otras ocasiones se produce una “**autocicatrización**” por los productos de la corrosión y depósitos cálcicos. Como hemos



comentado, las fisuras longitudinales son, naturalmente, más peligrosas que las transversales, ya que afectan a superficies mucho mayores de la barra.



Tabla 2.7. Efectos de la corrosión sobre estructuras de hormigón armado. Elaboración propia

2.4 ANÁLISIS Y DETECCIÓN.

A la hora de realizar un análisis de una estructura lo más importante es la inspección visual, la medición y análisis de las grietas.

Algunos indicios de deterioro e indicadores que se pueden detectar son: fisuración, descamación de la superficie de hormigón, desprendimiento de fragmentos del recubrimiento de hormigón, manchas de cal en la superficie del hormigón, eflorescencias, depósitos de sales blancas, manchas de óxido (de color marrón u óxido), deterioros, cambios en propiedades (como color textura o resistencia), nidos de grava (evidencias de huecos o espacios entre áridos gruesos), filtraciones por las juntas, abrasión, etc.

Posteriormente mediante muestras tomadas de la propia estructura se pueden realizar ensayos para medir el contenido de iones cloruros, gravedad específica, porcentaje de vacíos, absorción, resistencia a la compresión, etc... Los resultados de estos ensayos nos ayudan a medir el grado de susceptibilidad de la estructura, determinar los aditivos existentes en la mezcla y la ulterior corrosión.

Además, el ensayo de los agregados reactivos se puede realizar para determinar si los agregados son causantes o contribuyentes del agrietamiento.

El ensayo de ultrasonido, se puede realizar en el hormigón en obra, para estimar la severidad y extensión del deterioro por agrietamiento o los vacíos del hormigón, aun cuando estos no pueden ser vistos.

Otras áreas dañadas por corrosión a causa de un insuficiente recubrimiento de las armaduras, pueden ser detectadas por el Pacómetro, un aparato magnético que mide la profundidad de las armaduras, si el tamaño de las barras es conocido.

Los ensayos cuantitativos más eficaces y menos conocidos como los que se hacen mención más adelante pueden indicarnos las zonas de mayor riesgo de corrosión. [36]

MEDICION DE LA RESISTIVIDAD DEL HORMIGÓN

Como el desarrollo de la corrosión en las armaduras del hormigón representa un proceso electroquímico, existe un flujo iónico del ánodo al cátodo a través del conjunto de poros del hormigón. Conocer la resistencia o dificultad que ofrece el hormigón a ese flujo, nos indicará cuan eficiente puede ser la reacción de óxido-reducción en el acero.

Por lo general, se emplean 4 sondas de medición tipo Wenner (electrodos equidistantes) para medir la resistividad en estructuras de hormigón.

Se inyecta una corriente I entre el par de electrodos exteriores y se mide el ΔV entre el par de electrodos interiores, considerando el medio de hormigón como un elemento homogéneo de resistividad.

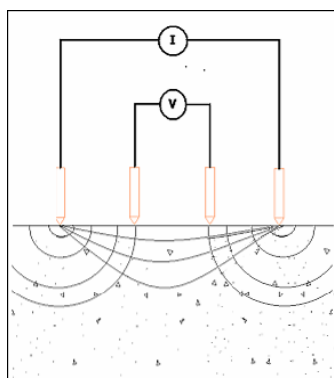


Fig. 2.51. Medición de resistividad con sondas de Wenner. [36]. <http://www.hcc-es.com/archivos/BOLETIN%20TECNICO%2004-%20Proteccion%20catodica.pdf>.

Los resultados de las mediciones realizadas son interpretados en la tabla siguiente:

Resistividad (KOhm.cm)	Riesgo de corrosión
> 20	Bajo
10 – 20	Intermedio
5-10	Alto
< 5	Corrosión

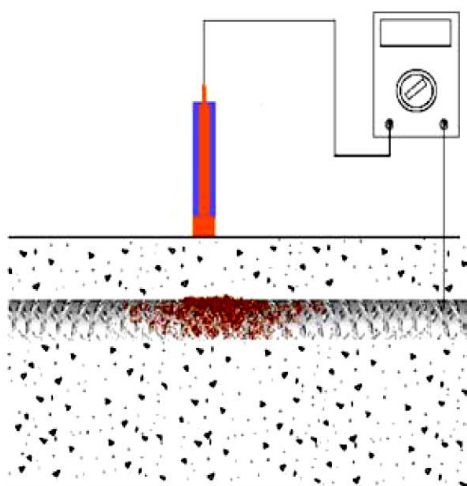
Tabla 2.8. Riesgo de corrosión según medición de resistividades en el hormigón armado.

MEDICION DE POTENCIALES ELÉCTRICOS.

La existencia de corrosión activa, puede ser detectada por la medición directa de un flujo de corriente. Se hace una conexión eléctrica de un borne de un voltímetro a una barra de la armadura expuesta. El otro borne del voltímetro es conectado a un elemento de pila de sulfato de cobre, que es entonces puesto en contacto con la superficie de hormigón en varios puntos. La magnitud y signo del voltaje resultante es un indicador de la actividad de la corrosión

en el hormigón.

Un potencial de alrededor de 0.30 Volts, suele ser considerado un valor de inicio, y se puede asegurar que el daño por corrosión ocurrirá. Así mismo se indica que un potencial igual o mayor a 0.20 Volts es indicador de un problema por corrosión en elementos verticales de hormigón armado.



Electrodo de referencia		Estado de corrosión
Cu/CuSO ₄	Ag/AgCl/ 4M KCl	
> - 200 mV	> - 106 mV	Débil
- 201 a -350 mV	- 107 a - 256 mV	Intermedio
- 351 a - 500 mV	- 257 a - 406 mV	Alto
< - 500 mV	< - 407 mV	Corrosión Severa

Tabla 2.9. Riesgo de corrosión según medición de potenciales eléctricos en el hormigón armado. (en milivoltios). [36]. <http://www.hcc-es.com/archivos/BOLETIN%20TECNICO%2004-%20Proteccion%20catodica.pdf>].

Fig. 2.52. Medición del potencial eléctrico. [36].

<http://www.hcc-es.com/archivos/BOLETIN%20TECNICO%2004-%20Proteccion%20catodica.pdf>].

Resumiendo, si se obtienen bajas lecturas en una región agrietada, el agrietamiento puede ser considerado como estructural y no a causa de procesos de corrosión.

MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN

Esta técnica, también llamada polarización lineal, se fundamenta en la medición de la resistencia de polarización del hormigón armado. La resistencia de polarización se puede medir de dos formas:

- Medición Galvanoestática: Aplicando una pequeña corriente (ΔI) al acero y controlando la variación en el potencial (ΔV)
- Medición Potencioestático: Aplicando un pequeño cambio de potencial ($\Delta V = 10 - 20$ mV) al acero y midiendo el flujo resultante de corriente (ΔI).

Así, la resistencia a polarización será el cambio de potencial sobre la corriente aplicada:

$$R_p = \frac{\Delta V}{\Delta I}$$

Con este valor y con una constante que depende de la pasivación del acero, obtendremos el valor de corriente y la velocidad de corrosión. [36]



Estado de corrosión	I _{corr} (μA / cm ²)
Sin corrosión prevista	< 0,2
Corrosión previsible de 10 – 15 años	0,3 – 1,0
Corrosión previsible de 2 – 10 años	1,1 a 10
Corrosión previsible de 2 años o menos	> 11

Tabla 2.10: Riesgo de corrosión según medición de la velocidad de corrosión en estructuras de hormigón armado. [36]

Los tres ensayos anteriores son no destructivos y pueden variar con factores como la humedad presente en los poros del hormigón, la presencia de cloruros u otro tipo de iones que actúen como transportadores de carga eléctrica, el grado de carbonatación del hormigón, la temperatura, porosidad, etc. Y podrían distorsionar los resultados anteriores, de aquí la importancia de saber interpretar dichos resultados.

2.5 TRATAMIENTO PALIATIVO.

La Corrosión es un proceso electroquímico capaz de destruir una estructura metálica por la acción de numerosas celdas galvánicas que se forman en su superficie. El resultado es que el metal se oxida, transformándose en productos de corrosión.

Existen básicamente 3 formas de frenar el proceso de corrosión: [30]

- **Aislamiento:** Evitar dentro de lo posible la existencia de alguno de los 3 fenómenos para la formación de una pila electroquímica. Normalmente se aplican revestimientos externos para frenar la entrada de CO₂, agua, cloruros, etc.
- **Inmunización:** Generar un sistema donde la corrosión tenga lugar en otro metal y no en las armaduras del hormigón. Esto se logra mediante la implementación de los sistemas de protección catódica de corriente impresa o por ánodo de sacrificio.
- **Pasivación:** Devolver al hormigón las características originales. (Alta alcalinidad)

Uno de los procesos para detener la corrosión es hacer fluir una corriente eléctrica en sentido contrario a la del proceso corrosivo y de magnitud suficiente para contrarrestar dichas Celdas Galvánicas.

Por lo tanto podemos afirmar que actuando en alguno de los procesos de la reacción electroquímica se pueden anular o mermar los efectos de la misma, estos son: el **proceso anódico**, el proceso **catódico** y la **conexión entre ánodo y cátodo**.

Estos procesos tienen como fundamento la polarización a potenciales más negativos de la superficie metálica hasta alcanzar una en la cual se acepta que dicha superficie metálica es inmune a la corrosión. De esta manera detienen o reducen los procesos anódico y/o catódico por esta polarización y los cambios químicos producidos en el hormigón.

Los principales métodos utilizados en la actualidad son los siguientes:

- Protección catódica (PC).
- Extracción electroquímica de cloruros (EEC).
- Realcalinización electroquímica (RAE).

Estos procesos están estrechamente relacionados entre sí ya que están basados en la **polarización catódica del acero**.

El autor J. Mietz [37] establece las características más importantes de estos procesos que resumimos en el siguiente cuadro.

POLARIZACIÓN	PROTECCION CATODICA	ECC	RAE
OBJETIVO	Actuar sobre el potencial	Pasivar el acero Extraer cloruros	Pasivar el acero
DURACIÓN	Permanente	Temporal (6-10 semanas)	Temporal (3-14 días)
DENSIDAD DE CORRIENTE	3-20 A/m ²	0,8-2 A/m ²	0,8-2 A/m ²

Tabla 2.11.Principales características de sistemas de rehabilitación de estructuras de hormigón armado mediante medios electroquímicos.

2.5.1 PROTECCIÓN CATÓDICA.[38]

La protección catódica parte del principio de que el proceso de corrosión es una reacción electroquímica. Es una técnica de rehabilitación electroquímica que consiste en situar al metal en la zona de inmunidad según el diagrama de Pourbaix (ver figura 2.53), para ello infiere al mismo un potencial muy negativo.

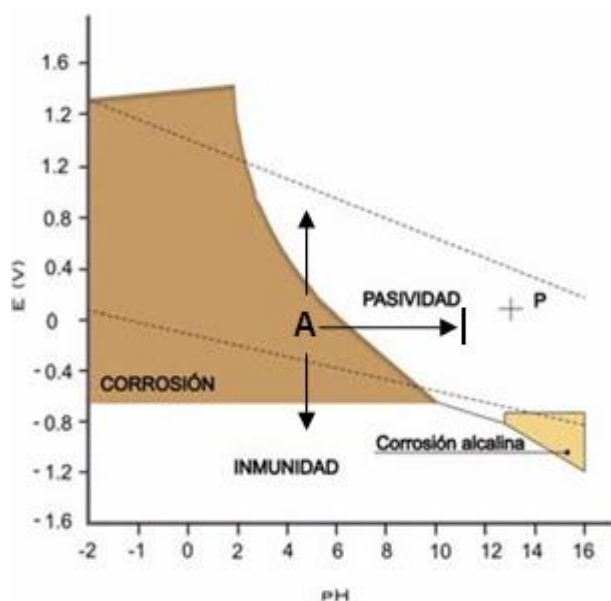


Fig. 2.53. Diagrama Pourbaix, indicador de pasividad en el metal. (<http://jdmoreno3.blogspot.com.es/2013/11/pasivacion-de-las-armaduras.html>).



Según Pourbaix, en sus estudios sobre el equilibrio electroquímico del **acero**, el estado de inmunidad de este metal tiene lugar cuando su solubilidad en el electrolito es menor a 10^{-6} moles por litro, es decir 0,056 mg/l. Esto corresponde a un potencial de disolución, con respecto al electrodo de referencia de hidrógeno 1 N, de -530 mV.

El acero tiene, en condiciones naturales, un potencial de disolución próximo a -300 mV, respecto a electrodo de referencia de hidrógeno 1 N, con variaciones que dependen de la naturaleza química condiciones físicas del electrolito como por ejemplo la temperatura.

En el campo de la protección catódica se utilizan el electrodo de Cu/CuSO₄ saturado, el de Ag/AgCl y el de Zn electrolítico, con una pureza de 99,99 %.

Cuando el electrolito es agua se suele emplear el electrodo de Ag/AgCl, siendo el potencial de inmunidad, respecto a este último electrodo, -800 mV en agua de mar y de -780 mV si es en solución de KCl saturada.

Los potenciales de polarización a inmunidad mencionados son para el acero al carbono en las condiciones más normales, pero en condiciones especiales (como arena aireada, hormigón, arena de río lavada) y otros metales o aleaciones de acero, los criterios de inmunidad puede ser otros.

Existen actualmente dos procedimientos que infieren esta protección según la forma de desplazar el potencial en dirección negativa:

- a) Por Ánodos de sacrificio.
- b) Por Corriente impresa.

2.5.1.1 **ÁNODOS DE SACRIFICIO**

Sus orígenes datan de 1824, cuando Sir Humphry Davy empleo un ánodo de sacrificio de hierro a la plancha de cobre del casco del barco HMS Samarang por debajo de la línea de flotación del barco lo que redujo la velocidad de corrosión del cobre drásticamente.

Como hemos indicado anteriormente, para que se produzca el efecto electroquímico se requieren 3 factores:

- 1) ánodo o superficie anódica
- 2) cátodo o superficie catódica
- 3) electrolito que una o contenga ambas zonas o superficies.

Estos tres factores forman la pila de corrosión. Por tanto, para evitar este tipo de corrosión bastará con anular uno de los tres factores definidos anteriormente.

Si encontramos un metal cuyo potencial sea más electronegativo que el potencial de las zonas anódicas de la superficie metálica que queremos proteger y lo unimos metálica/eléctricamente a ella, formamos una pila, a nuestra conveniencia, en la que la nueva zona anódica sea el metal por nosotros elegido y en el que se produzca la corrosión.



De esta forma hemos creado una pila galvánica cuya zona anódica (zona de corrosión) es la elegida previamente, mientras que el resto de superficie forma la zona catódica que permanece inalterable o protegida. Al corroerse el metal elegido, se va deteriorando o sacrificando en beneficio de la estructura a proteger (ánodo de sacrificio).

No todos los metales independientemente de su electronegatividad, se pueden utilizar como ánodos de sacrificio, ya que para dicha función tienen que cumplir una serie de condiciones y características. Normalmente se utilizan aleaciones de Zinc (Zn), aleaciones de aluminio (Al) y aleaciones de magnesio (Mg) (en resistividades de electrolitos altos), que cumplen con las normas vigentes.

El Zinc ha sido el material anódico clásico y pionero en el desarrollo de este sistema. Los ánodos de aleaciones de Magnesio han sido igualmente empleados con éxito, principalmente en la protección de estructuras situadas en medios agresivos o de resistividad elevada, consiguiendo una rápida polarización.

El aluminio y sus aleaciones han sido muy empleados en los últimos años en la protección de elementos en contacto con el agua de mar.

Tomando en cuenta la serie electroquímica siguiente, un metal tendrá un carácter anódico respecto a otro si se encuentra arriba de él en dicha serie. Es esta la razón por lo que comercialmente se emplea zinc, magnesio y aluminio para proteger al acero. [30][44]

Tabla N.º I. Serie electroquímica de los metales
(Electrodo de referencia el de hidrógeno normal).

Iones en solución	Potencial (voltios)	Iones en solución	Potencial (voltios)
Li ⁺	- 3022	Co ⁺⁺	- 0,29
Rb ⁺	- 2924	Ni ⁺⁺	- 0,22
K ⁺	- 2925	Sn ⁺⁺	- 0,136
Ca ⁺⁺	- 2,87	Pb ⁺⁺	- 0,129
Na ⁺	- 2715	H ⁺	0,000
Mg ⁺⁺	- 1866	Bi ⁺⁺⁺	+ 0,226
Al ⁺⁺⁺	- 1,67	Cu ⁺⁺	+ 0,344
Zn ⁺⁺	- 0,762	Te ⁺⁺⁺⁺	+ 0,558
Cr ⁺⁺	- 0,71	Hg ⁺⁺	+ 0,798
Fe ⁺⁺	- 0,441	Ag ⁺	+ 0,799
Cd ⁺⁺	- 0,397	Pt ⁺⁺	+ 1,2
Ti ⁺	- 0,336	Au ⁺⁺⁺	+ 1,12

Tabla 2.12. Serie electroquímica de los metales más empleados. (<http://revistas.concytec.gob.pe/img/revistas/iigeo/v7n13/a06tab01g.jpg>).

Las propiedades que ha de reunir un material anódico han de ser las siguientes:

1. Debe tener un potencial de disolución lo suficientemente negativo como para polarizar la estructura de acero.

2. Cuando el metal actúe como ánodo debe presentar una pequeña tendencia a la polarización, no debe formar películas pasivantes y debe tener un elevado sobrepotencial para la formación de hidrógeno.
3. El metal debe tener un elevado rendimiento eléctrico, lo que constituye su capacidad de drenaje de corriente.
4. En su proceso de disolución anódica, la corrosión deberá ser lo más uniforme posible.
5. El metal debe ser de fácil adquisición y podrá fundirse en diferentes formas y tamaños
6. El material tendrá un costo razonable.

Conociendo la superficie a proteger, la intensidad de corriente por ánodo, su peso y geometría, su resistencia eléctrica y la del medio, podremos diseñar un sistema galvánico de protección con una duración media de vida estimada. Varios fabricantes de productos químicos para la construcción comienzan a desarrollar productos específicos de protección galvánica para elementos de hormigón armado.

La facilidad de monitorización de estos sistemas hace que puedan ser revisados y verificados en cuanto a su efectividad, duración de vida estimada, etc...

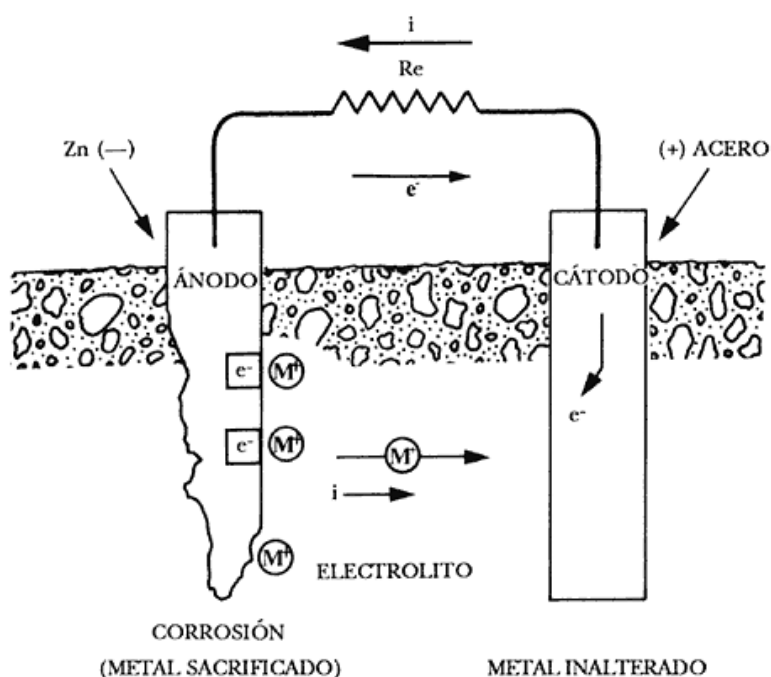


Fig. 2.54 Esquema de protección catódica por ánodo de sacrificio. Elaboración propia



Fig. 2.55 Ánodos de sacrificio de un termo.(http://linea-blanca.yoreparo.com/calentadores_agua/694964.html)



Fig. 2.56 Ánodo de Sacrificio en casco de un barco.
https://en.wikipedia.org/wiki/File:Sacrificial_anode.jpg

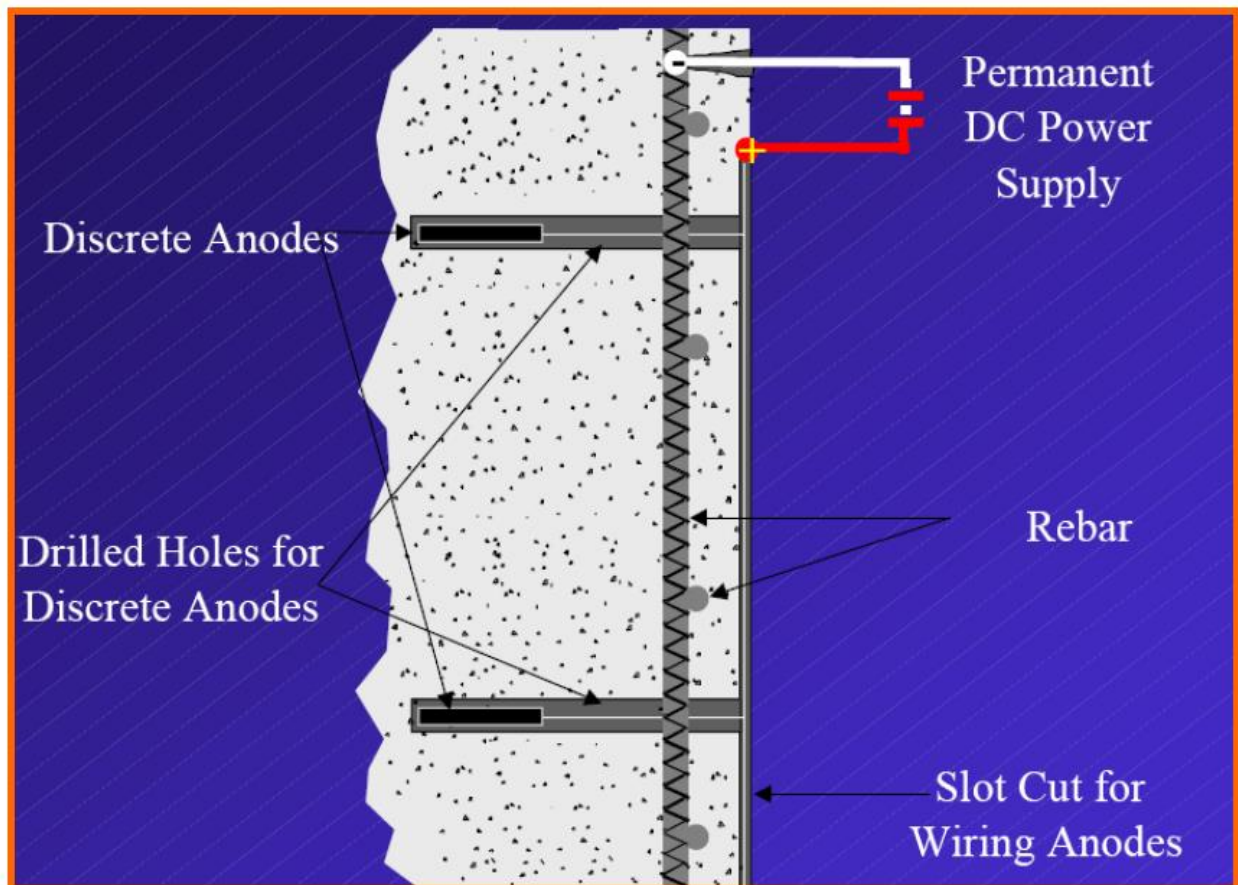


Fig. 2.57 Esquema de protección catódica por ánodo de sacrificio.

En estructuras de hormigón armado, el requerimiento de densidad de corriente varía según las condiciones que rodean a las armaduras.

De esta forma, no será igual proteger una estructura de bajo riesgo de corrosión que un elemento con procesos corrosivos severos

Este sistema en rehabilitación no funciona muy adecuadamente en obras de edificación, ya que es fundamental que la corriente se reparta homogéneamente por lo que serían necesarios un elevado número de ánodos de sacrificio. Asimismo el hormigón presenta una alta resistividad lo que igualmente condiciona ese reparto homogéneo de la corriente.

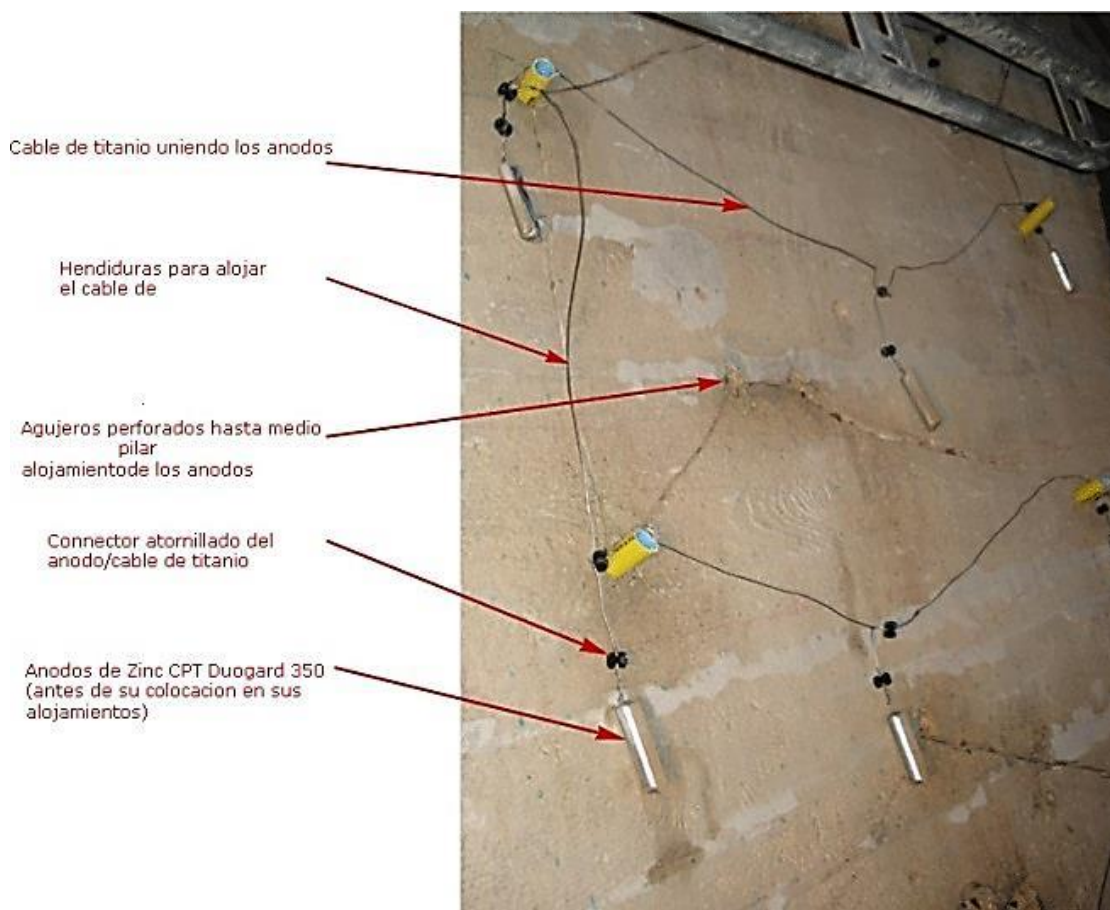


Fig. 2.58 Protección catódica por ánodo de sacrificio.

2.5.1.2 CORRIENTE IMPRESA.

Este procedimiento consiste en unir eléctricamente la estructura que se trata de proteger con el polo negativo de una fuente de alimentación de corriente continua (pura o rectificada) y el positivo con un electrodo auxiliar que cierra el circuito. Los electrodo auxiliares se hacen de aleación de ferrosilicio, grafito, titanio platinado, titanio-óxido de rutenio, etc.

Es completamente indispensable la existencia del electrolito (medio agresivo) que completa el conjunto para que se realice el proceso electrolítico.

Este sistema de protección catódica tiene la característica de que utiliza como ánodo dispersor de la corriente (electrodo auxiliar) materiales metálicos que en mayor o menor grado se consumen con el paso de la corriente. Sin embargo, el intercambio necesario de corriente con el electrolito tiene lugar a través de reacciones electroquímicas, las cuales dependen tanto del material anódico, como del ambiente que rodea al mismo e incluso de la densidad de corriente que éste suministra.

Los componentes de un sistema de protección catódica por corriente impresa son:

1. Un ánodo dispersor
2. Una fuente de corriente continúa
3. El cable portador de la corriente



Fig.2.59. Protección catódica por corriente impresa. Potenciales de protección entre -850 y -1200 mV.

La posibilidad de obtener mayor corriente drenada desde el transforectificador hace que la protección catódica por corriente impresa sea aplicable en muchas circunstancias en donde los ánodos de sacrificio son poco efectivos o muy costosos por la cantidad necesaria.

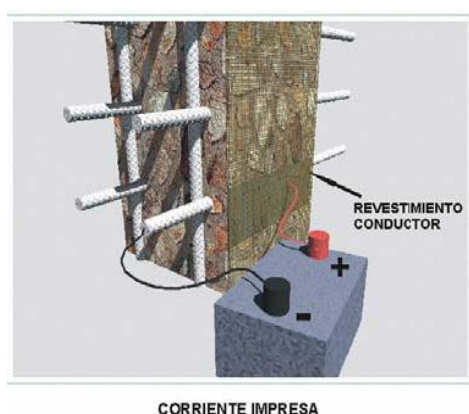


Fig. 2.60. Esquema general de una protección catódica por corriente impresa.

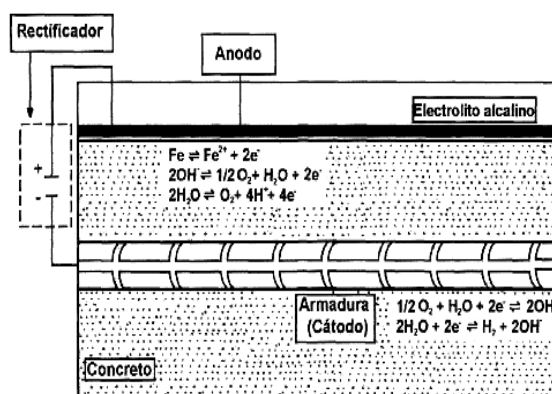


Fig. 2.61. Protección catódica por corriente impresa.

El diseño de protección es muy similar a la protección galvánica pero el cálculo parte de la geometría de la estructura y la capacidad de corriente de los ánodos. A diferencia de los ánodos de sacrificio, la protección catódica por corriente impresa ofrece un tiempo de protección muy superior. El menor desgaste de los electrodos inertes y la regulación posterior de corriente una vez pasivada la estructura, hace que el requerimiento de corriente sea menor y así, mayor su durabilidad.

El sistema de corriente impresa requiere de una fuente de corriente continua, no importa de dónde provenga, a condición de que se mantenga pese al paso del tiempo. Un sistema de corriente impresa debe de poder funcionar de forma permanente al menos durante diez años.

Criterios basados en consideraciones termodinámicas y de polarización nos permite establecer la eficacia de los sistemas de protección catódica. Por tanto las estructuras de hormigón armado se protegen mediante el cambio de potencial de corrosión inducido por la corriente de protección catódica suministrada entre las barras de acero y los ánodos.



Fig. 2.62. Ánodos de Titanio.



Fig. 2.63. Monitorización



Además de su función protectora contra la corrosión, la protección catódica tiene efectos o aplicaciones secundarias tales como:

- Realcalinización del entorno de las armaduras.
- Descomposición del agua y reducción del contenido de humedad.
- Inactivación de bacterias anaerobias y aerobias por aumento del pH.
- Generación de cloro.
- Reducción de incrustaciones calcáreas en tuberías.

En la búsqueda de la durabilidad, la protección catódica garantiza una mayor longevidad de las estructuras de hormigón armado, además la protección catódica puede ser controlada y monitorizada para determinar su efectividad.

Las múltiples aplicaciones de la protección catódica por corriente impresa permiten su uso en una gran diversidad de sustratos y elementos.

En la siguiente tabla podemos comprobar las ventajas y las limitaciones de la aplicación de estos tratamientos paliativos:

VENTAJAS	LIMITACIONES
<i>a) Puede diseñarse para un amplio intervalo de potencial y corriente.</i>	<i>a) Puede causar problemas de interferencias.</i>
<i>b) Un ánodo o lecho anódico puede suministrar una gran corriente.</i>	<i>b) Está sujeto a rotura de la fuente de corriente.</i>
<i>c) Con una sola instalación se pueden proteger superficies muy grandes.</i>	<i>c) Requiere de una inspección periódica y de mantenimiento.</i>
<i>d) Potencial y corriente variables</i>	<i>d) Posibilidad de condiciones de sobreprotección con daños a recubrimientos y problemas de fragilización por la acción del hidrógeno.</i>
<i>e) Se pueden utilizar en ambientes de resistividad elevada.</i>	<i>e) Conexiones a cables sujetos a roturas</i>
<i>f) Eficaz para proteger estructuras no recubiertas o mal recubiertas</i>	<i>f) Costo elevado</i>

Tabla 2.13. Ventajas e inconvenientes de la Protección Catódica mediante corriente impresa. Elaboración propia.

Una gran ventaja de este método es su posibilidad de proteger una gran superficie con un solo ánodo. Por otra parte, tanto la diferencia de potencial como la corriente suministrada son variables y de aquí se desprende que el sistema presenta una gran flexibilidad operacional.

Este tipo de sistemas debe ser proyectado con cuidado para no causar problemas de corrientes erráticas (parásitas), las cuales pueden provocar la corrosión de estructuras vecinas.



2.5.2 OTROS PROCESOS.

Existen actualmente otros sistemas de protección que son relativamente nuevos y que tienen bastantes características en común con la protección catódica anteriormente comentada.

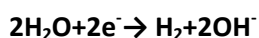
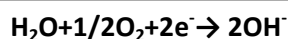
2.5.2.1 EXTRACCIÓN ELECTROQUÍMICA DE CLORUROS (ECC)

Se basa este método en la aplicación de una corriente eléctrica continua entre la armadura que actúa como cátodo y un ánodo exterior que se colocara de forma provisional en la superficie exterior a tratar.

Por tanto se produce una diferencia de potencial entre la zona anódica y la catódica que origina las siguientes reacciones. [38][39]

CÁTODO:

El agua se reduce a iones hidroxilo, y una vez que se consume el oxígeno disponible (esto suele ocurrir en menos de 24 horas) se produce otra reacción donde se siguen generando iones hidroxilo e hidrogeno gas. Por lo tanto en el cátodo se producen iones hidroxilo que van dirigiéndose hacia el ánodo, por lo tanto en las zonas próximas a la armadura, la concentración de estos iones OH^- aumenta.

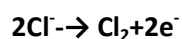
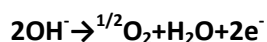
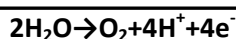


La liberación de hidrógeno en el cátodo afecta a la armadura, ya que este, aun no teniendo influencia en la carga ultima de rotura del acero, si afecta a la elongación de ruptura del mismo. Así, el flujo de corriente tiene influencia en la propiedad plástica de la armadura, lo que obliga a intentar reducir al máximo las cargas dinámicas durante el tratamiento paliativo. [15]

ÁNODO:

En el ánodo se produce la electrolisis del agua, después de agotados los iones OH^- .

Los iones H^+ generados se mueven hacia el cátodo donde se van encontrando los iones OH^- y Cl^- que se dirigen desde el cátodo hacia el ánodo. Los iones OH^- se neutralizan formando agua, con los iones Cl^- se forma ácido clorhídrico, donde se encuentran valores de pH de entre 1,5 y 3. Los iones Cl^- que llegan al ánodo se descargan en forma de cloro gas en forma muy toxica.



Hay que tener en cuenta que este Cloro gas que se libera es muy tóxico lo cual influirá en el diseño del sistema.



Cuando en lugar de agua, se utiliza como electrolito exterior una disolución alcalina, los iones hidroxilo presentes en el ánodo pasan a convertirse en oxígeno gas y moléculas de agua. El pH del electrolito baja pero el medio no se acidifica por la formación de H_2 y no se forma cloro gas. De esta manera con valores de pH cercanos a 7 es más fácil que se produzcan las reacciones anteriores.

Por lo tanto el esquema operativo es muy similar al de la protección catódica, ya que se impone la circulación de una corriente continua entre un dispositivo anódico, conectado al polo positivo de una fuente de corriente externa y las armaduras conectadas al polo negativo, es por ello que funcionan catódicamente. Sin embargo como diferencia con la protección catódica, su tiempo de tratamiento es limitado (de una semana a tres meses) [40]

Existen una serie de factores que pueden llegar a condicionar estos tratamientos:

DISTRIBUCIÓN DE LÍNEAS DE CORRIENTE:

El ion cloruro es transportado a través del campo eléctrico. Las líneas de corriente varían al ser la armadura de sección circular, por tanto las zonas que hay situadas en la parte posterior de la armadura no se eliminan de iones cloruros puesto que la fuerza de extracción sobre estas zonas es prácticamente nula lo que conlleva un problema a la hora de aplicar este tratamiento puesto para que fuese realmente eficaz debería realizarse el mismo tratamiento sobre la superficie interior.

ESPESOR DEL RECUBRIMIENTO:

Al igual que en la difusión, en la extracción de iones cloruros ocurre lo mismo, el espesor de recubrimiento condiciona la velocidad de extracción al igual que la de difusión de estos iones ya que su resistencia eléctrica depende de este espesor, en este caso un espesor menor conlleva una menor resistencia eléctrica y por tanto una cantidad de cloruros extraída mayor.

RESISTENCIA ELÉCTRICA DEL HORMIGÓN:

La velocidad de extracción del cloruro es directamente proporcional a la cantidad de corriente que pasa por el hormigón. Así para un determinado voltaje dado, la corriente es mayor cuanto menor es la resistencia eléctrica del hormigón, así cuanto más húmedo es el hormigón más eficaz será el tratamiento.

ELECTROLITOS USADOS:

Se emplean diferentes soluciones como electrolito exterior. Como hemos comentado antes el agua tiene un problema a la hora que genera gas cloruro en el exterior, sin embargo cuando se emplea una solución alcalina se impide la acidificación del medio y la formación de cloro gas, las soluciones más empleadas son el hidróxido cálcico, el borato sódico y el hidróxido de sodio.

2.5.2.2 REALCALINIZACIÓN ELECTROQUÍMICA (RAE)

Este sistema se basa en restablecer la protección que confiere el hormigón al acero, aumentando el pH del hormigón que envuelve a la armadura (el principal fundamento del sistema es producir iones OH^- alrededor del acero para

elevar el pH, devolviendo el estado alcalino al hormigón y repasivando las barras activas y de esta forma detener el avance del proceso de corrosión.

El tratamiento consiste en hacer pasar una corriente continua desde el ánodo externo hasta la armadura a través del hormigón. Se coloca el ánodo en la superficie del hormigón junto con un electrolito de carbonato sódico o hidróxido de litio. Se debe evitar la existencia de grietas o fisuras que puedan provocar un cortocircuito y por ende perjudicar el tratamiento.

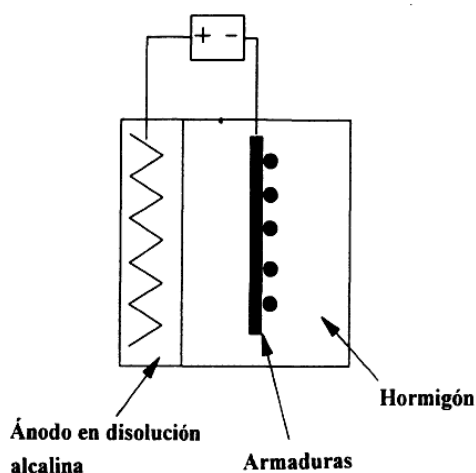


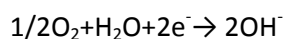
Fig. 2.64. Esquema de funcionamiento de la técnica de realcización electroquímica.

(<http://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/viewFile/522/570>)

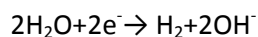
Las reacciones que se producen son las siguientes:

CÁTODO:

El agua se reduce a iones hidroxilos. El oxígeno disponible se consume en menos de 24 horas:

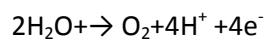
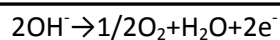


Una vez consumido el oxígeno, se desarrolla la electrolisis del agua produce iones hidroxilo e hidrogeno gas de acuerdo con la siguiente formulación:



ÁNODO:

El hidroxilo o el agua se oxidan a oxígeno y protones según las siguientes formulaciones:





Por lo tanto la electrólisis del agua da lugar al desprendimiento de oxígeno, así como la acidificación del entorno [40]. Y así como consecuencia de estas reacciones se produce el proceso más importante de la realcalinización, un aumento del pH alrededor de la armadura (zona catódica).

Es importante reseñar que la formación de Hidrogeno puede producir una fragilización de la armadura (como ya hemos comentado anteriormente) que puede tener efectos negativos sobre todo en el caso de estructuras de hormigón pre y postensadas, con lo que no es recomendable su aplicación en este tipo de estructuras.

Existen 4 mecanismos posibles que pueden estar implicados en este proceso de realcalinización:

ELECTROMIGRACIÓN

Las soluciones acuosas de sales, ácidos, bases, son conductoras de la electricidad. Las sustancias anteriores cuando están en disolución, se disocian en partículas cargadas eléctricamente (iones). De este modo ante la presencia de un campo eléctrico, los iones se mueven, transportando la corriente.

La cantidad de corriente que atraviesa la solución, bajo unas determinadas diferencias de potencial, es proporcional al número de iones presentes en la solución y además depende de la velocidad a la cual pueden moverse hacia los electrodos. La conductividad total de un electrolito es la suma de las conductividades de todos sus iones.

En el hormigón el transporte de la corriente eléctrica se produce mayoritariamente por la migración de los iones disueltos en la disolución de la red de poros. Así al aplicar un campo eléctrico entre la armadura y un ánodo externo, los iones cargados negativamente se mueven hacia el ánodo y los cargados positivamente hacia el cátodo, en este caso la armadura.

ABSORCIÓN

La solución alcalina puede ser absorbida desde la superficie de hormigón por efectos capilares. Para que se produzca el mismo depende en mayor medida de las condiciones de humedad del hormigón y de la estructura de la red de poros. Aunque según las investigaciones al respecto esta es insignificante cuando se aplican densidades de corriente y duración habituales.

DIFUSIÓN

Este mecanismo es prácticamente insignificante como contribución al tratamiento electroquímico, pero puede tener una incidencia significativa a lo largo de la vida en servicio de la estructura, pudiéndose reducir el nivel de alcalinidad conseguido alrededor de la armadura por la difusión de álcalis, disminuyendo en este caso la protección frente a la corrosión.

ELECTROOSMOSIS.

No hay estudios al respecto que nos indiquen cuantitativamente los valores de este efecto. Por lo tanto podemos a partir de los procesos anteriores establecer el siguiente modelo de actuación:

- a) La electrólisis produce iones hidroxilo en el cátodo en una cantidad proporcional a la carga que ha pasado a través de él.

- b) A partir de procesos de electromigración una parte se mueve hacia el ánodo, abandonando el hormigón, el resto se queda alrededor de la armadura, incrementando por tanto el valor del pH alrededor del acero que llega a alcanzar valores de 13-14.
- c) Cualquier ingreso adicional de materia alcalina debido a la absorción o electroósmosis, se añade al efecto de electrolisis/electromigración

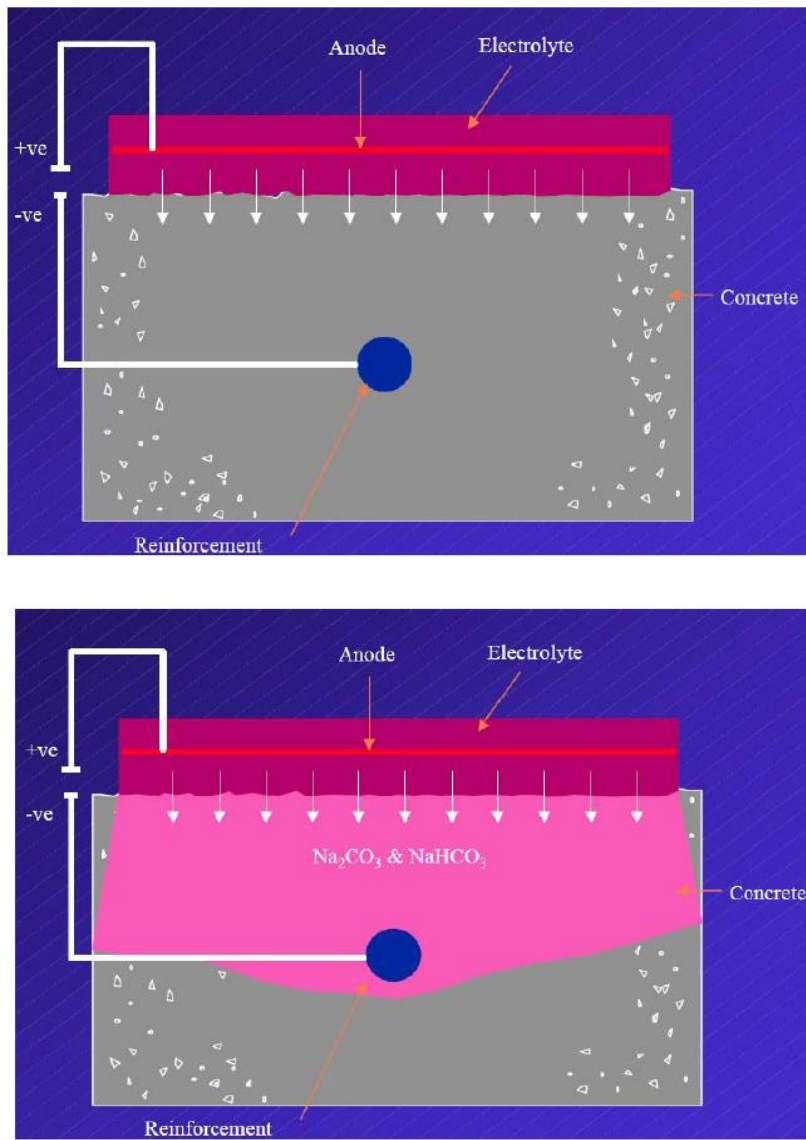


Fig. 2.65. Esquema de funcionamiento de la técnica de realcanización electroquímica.

Las características fundamentales de este proceso son las siguientes:

- Estrategia basada en la elevada movilidad del ión OH^-
- Emplea corriente eléctrica



- c) Se realiza sobre el hormigón un recredido con mortero rico en cemento.
- d) Realcaliniza el hormigón a una profundidad de 1-2 cm

Se debe mantener húmeda la capa de hormigón durante la aplicación para favorecer la difusión de los iones OH^- . Las limitaciones para el uso de esta técnica se relacionan con el estado del hormigón y del acero. Si el hormigón tiene muchas fisuras, o presenta grietas o desprendimientos, deberá ser saneado antes de llevar a cabo la ejecución del proceso.

Deberá evaluarse previamente la pérdida de sección de la armadura, si el estado de la estructura ha llegado a tal extremo que se ha perdido la adherencia entre acero y hormigón, debe recuperarse ésta antes de proceder a rehabilitar por realcalinización.

2.5.2.3 INHIBIDORES DE CORROSIÓN

Según el grado de porosidad del Hormigón y el carácter estructural del elemento que hay que tratar se pueden poner en ejecución inhibidores de corrosión a fin de crear una película de óxidos estables en la superficie de las armaduras, o bien actuando de tal manera que entregan sus electrones al medio. El tipo de inhibidor y el método de aplicación deben estar precedidos de un estudio patológico del hormigón. Los inhibidores de corrosión pueden ser utilizados como sistemas preventivos o como combinación con sistemas de reparación estructural. [41]

Los inhibidores de corrosión pueden aparecer en masa, añadidos al hormigón durante el amasado (prevención), de tal manera que reducen las velocidades de corrosión a niveles aceptables, o bien en aplicación superficial ya sea en forma de gel o pulverización, etc...

APLICACIÓN DE ADITIVOS:

Se ha demostrado el uso de **microsilíce** como retardante de la corrosión es efectivo, su mecanismo se basa en la reducción del diámetro de poro alcanzado en el hormigón y la interconectividad de estos, con lo que la armadura quedaría más protegida, ya que la absorción es menor [42].

Por otra parte, existen investigaciones que aseguran que para alcanzar mayor efectividad de protección contra la corrosión, es necesario incorporar un agente químico inhibidor de la corrosión como el **Nitrato de Calcio** [42], cuya presencia permite la formación de una película pasiva rica en **Maghemita ($\text{Fe}_{2.67}\text{O}_4$)**, un óxido bastante adherente que puede preservar a la armadura de acero en potenciales de corrosión con bajo riesgo de daño.

Existen tres zonas de riesgo definidas de acuerdo al potencial alcanzado por la armadura en el interior del hormigón expuesta al ataque por cloruros [42].

La primera zona de riesgo se ubica entre 0mV y - 300mV v/s Cu/CuSO₄, con un 5% de riesgo de corrosión, luego se encuentra la segunda zona que va desde los -300mV hasta -450mV, en esta zona, la armadura presenta un 50% de riesgo de corrosión, y la tercera zona va desde -450mV hacia valores negativos, zona bastante crítica donde el porcentaje de riesgo de corrosión alcanza el 95%.

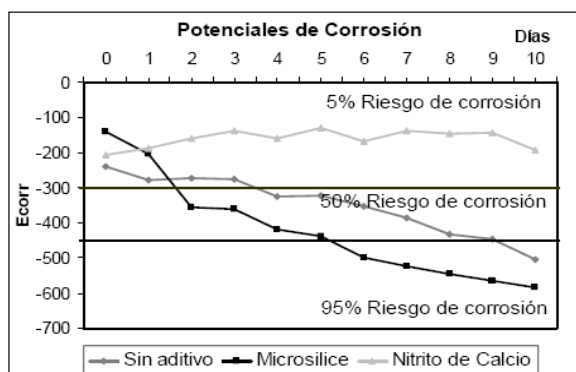


Fig. 2.66. Ejemplo de niveles de riesgo de corrosión en función del aditivo empleado.

Los aditivos inhibidores de corrosión, como el resto de aditivos, deben cumplir una serie de requisitos para poder ser usados en hormigón:

- efectividad en el rango de pH del hormigón.
- solubles en agua.
- saturar rápidamente la superficie de las armaduras sin absorberse fuertemente en la pasta de cemento.
- no alterar de forma significativa la velocidad de hidratación.
- ser compatibles con otros aditivos.

APLICACIÓN SUPERFICIAL:

La forma de aplicación más habitual es mediante pulverización, siendo absorbidos por el hormigón y difundándose a través del hasta entrar en contacto con la armadura.

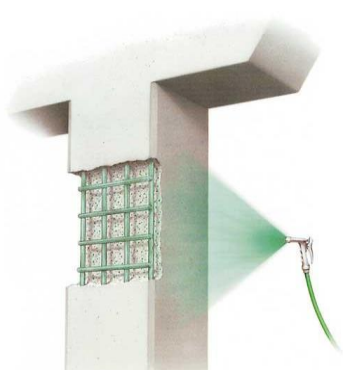


Fig. 2.67. Esquema de aplicación de inhibidores de corrosión en forma de gel [41]

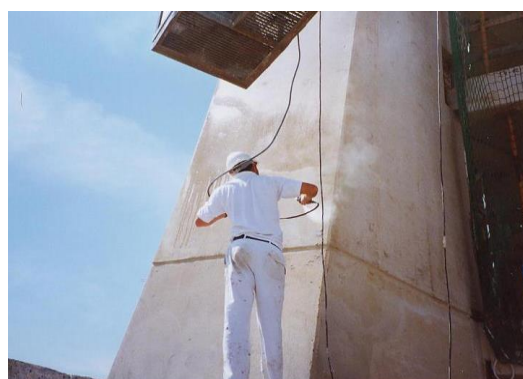


Fig. 2.68. Aplicación de inhibidores de corrosión pulverizado [43]

Los métodos de aplicación del inhibidor por medio de un gel portador permiten asegurar profundidades de penetración del inhibidor en el hormigón más importantes ya que movilizan los mecanismos de absorción del propio material. [41] Es importante el tratamiento previo de las superficies o soporte para conseguir una buena acción del

inhibidor. Estos soportes deben estar limpios, secos y libres de elementos que rechacen el inhibidor tales como grasas, aceites, desengrasantes, etc.

Los sistemas más utilizados para la preparación de las superficies el chorreo mediante arena o el lavado con agua a presión a más de 200 bares de presión.



Fig. 2.69. Esquema de aplicación de inhibidores de corrosión en forma de gel [41]

2.6 REPARACIÓN Y REFUERZO DE ESTRUCTURAS DAÑADAS.

2.6.1 REPARACIÓN POR PARCHEO.

El proceso de actuación habitual para estructuras con procesos de corrosión es el denominado reparación por parcheo [45]. Este sistema es el que regularmente se utiliza como método genérico de reparación de estructuras, con la problemática que no distingue entre la corrosión provocada por carbonatación y la generada a partir del ion cloruro. Este punto es muy importante y nos sirve como base para la elaboración de conclusiones posteriores ya que este proceso es considerado por muchos autores como adecuado contra la corrosión generada por carbonatación del hormigón, sin embargo se duda de su utilidad en procesos corrosivos generados por altas concentraciones de iones cloruros, al no erradicar la fuente de la corrosión y la posterior difusión de ese ion tras la reparación estructural, con lo que no se soluciona el problema.

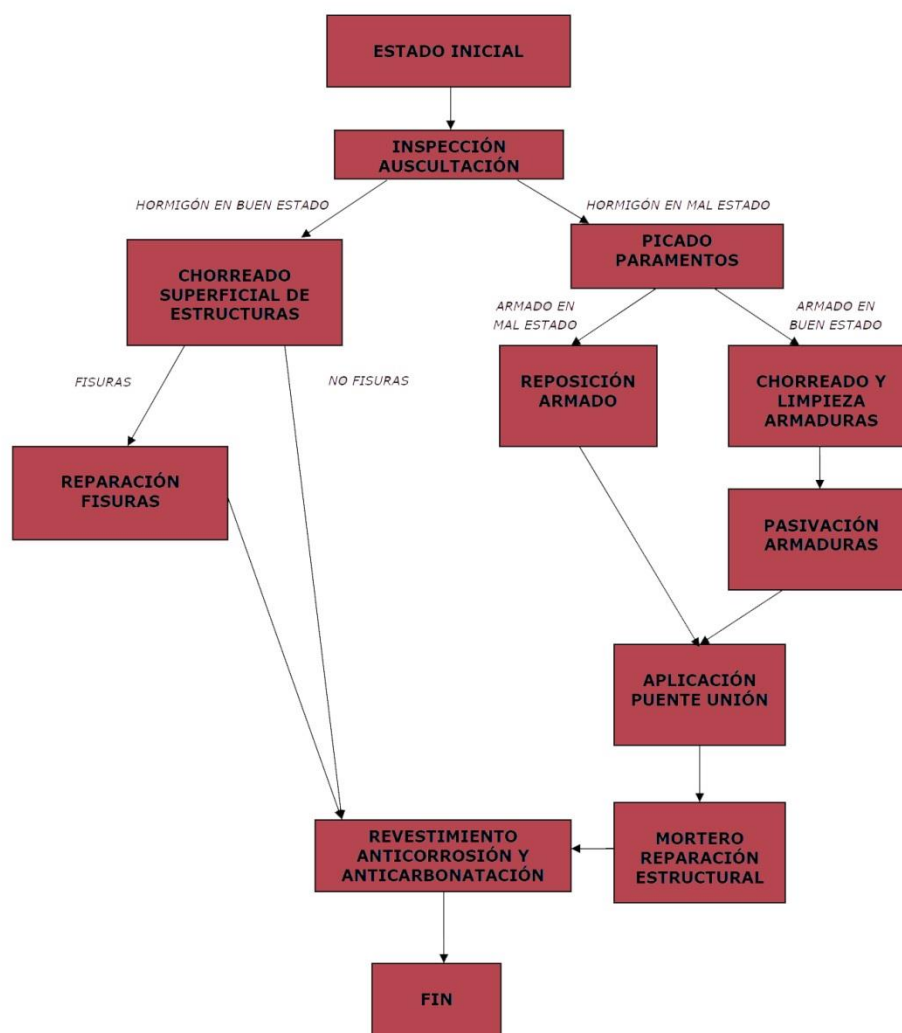
DIAGRAMA DE ACTUACIÓN

Fig. 2.70 M Fernández Cánovas en su libro *Patología y terapéutica del hormigón armado* señala los pasos a seguir para reparar una estructura afectada por patologías de corrosión. [46]

1) INSPECCIÓN / AUSCULTACIÓN

Previo al inicio de los trabajos, se procederá a la inspección/auscultación de los paramentos de hormigón con el fin de determinar las zonas donde el hormigón presente mal estado.

Se entenderá por mal estado aquellas zonas donde el hormigón presente coqueras, fisuras importantes, principios de carbonatación, segregación, desprendimientos, eflorescencias de carácter medio/alto, corrosión o en general, cualquier síntoma de una patología que afecte a la durabilidad del hormigón o a su capacidad estructural.

2) CHORREADO SUPERFICIAL DE ESTRUCTURAS

En las zonas donde se estime que el estado de conservación del hormigón es bueno, se procederá a la limpieza y saneo superficial del mismo mediante chorreo de arena a baja presión, entre 3 y 5 Atm, por vía seca o húmeda, para

eliminar de su superficie manchas, pintadas, restos de óxido, eflorescencias e incrustaciones, así como para desprender el material suelto del recubrimiento y conseguir una superficie rugosa para su tratamiento posterior.

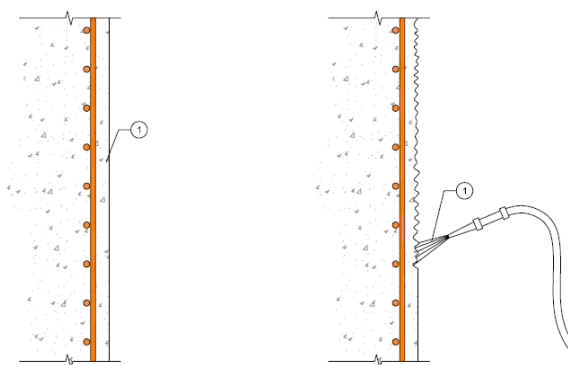


Fig. 2.71: Chorreado superficial de estructuras. (Estudio Ayesa sobre patologías en Torre Mirador Castillo San Sebastián Cádiz. 2008).

3) REPARACIÓN DE FISURAS

Una vez saneada la superficie del hormigón, puede darse el caso de que aparezcan fisuras en el mismo. En dicho caso, se medirán dichas fisuras y se delimitarán en función de su espesor. Para aquellas fisuras mayores de 0,40 mm, se procederá a una reparación de las mismas por rellenado de resinas epoxi, de forma que se facilite el adecuado funcionamiento estructural del elemento y se evite la entrada de agua y CO₂ al interior del hormigón.

Una vez chorreada y limpia la fisura de impurezas mediante soplado con aire comprimido, se colocarán inyectores pegados con masilla a una distancia no superior a 30 cm, sellando posteriormente toda la longitud entre inyectores y la zona donde se han ubicado. Se comenzará después el proceso de inyección desde el inyector situado más bajo hasta que el producto aparezca por el inyector inmediatamente superior.

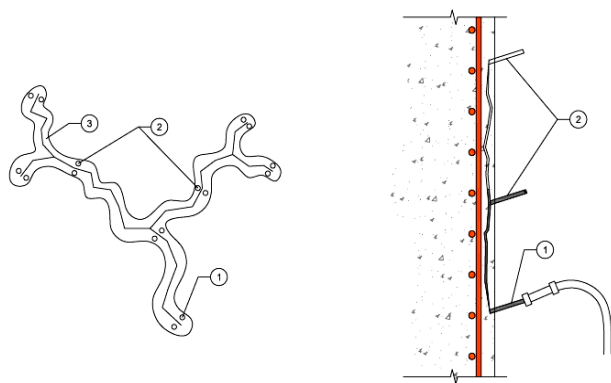


Fig. 2.72: Inyección grietas. (Estudio Ayesa sobre patologías en Torre Mirador Castillo San Sebastián Cádiz. 2008).

En este momento éste se sellará y se continuará la inyección hasta que aparezca por el inyector superior. Se continuará el proceso hasta completar la inyección en la totalidad de la fisura.

Para aquellas fisuras menores de 0,40 mm, se realizará un cajeado con radial en forma de V y con una distancia entre labios y una profundidad de 1 cm, se limpiará mediante chorreo y se aplicará un sellado con masilla epoxi.

4) PICADO DE PARAMENTOS

En las zonas donde se estime que el estado de conservación del hormigón es malo, según los criterios anteriormente especificados, se realizará un picado de descarnado local por medio de cinces y/o martillo eléctrico de baja capacidad hasta descubrir toda la armadura que presente corrosión no superficial o en las zonas que presenten coqueas o compacidad del hormigón deficiente y se eliminará el hormigón débil, dañado o deteriorado. Este picado deberá realizarse hasta alcanzar zonas donde la compacidad del hormigón a simple vista sea buena o donde se encuentre que el conjunto pasta de cemento y árido es adecuado. Se deberá tener cuidado durante el proceso de picado de no dañar la armadura pasiva existente.

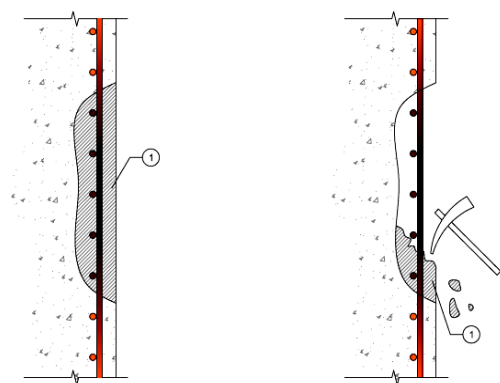
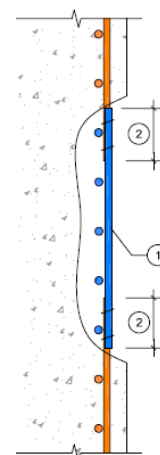


Fig. 2.73: Picado de paramentos. (Estudio Ayesa sobre patologías en Torre Mirador Castillo San Sebastián Cádiz. 2008).

Actualmente existe una nueva técnica de picado/demolición selectiva denominada Hidrodemolición que consiste en el uso del agua a alta presión. Es posible el empleo de esta técnica debido a la porosidad que presenta el hormigón ya que el agua penetra en el entramado poroso del hormigón generando altas tensiones internas, lo que produce estallidos de pequeñas partículas internas. Esta técnica es altamente selectiva puesto que modificando los parámetros de calibración de los equipos de presión conseguimos retirar el hormigón afectado, por lo que realiza una preselección entre el hormigón de escasa resistencia y el fuertemente adherido. Además como resultado de esta hidrodemolición la superficie resultante es rugosa firme y sin partículas sueltas lo que facilita la adherencia del revestimiento posterior que se le aplique.

5) REPOSICIÓN DE ARMADO

Una vez picados los paramentos de hormigón y descubierta la armadura, se procederá a su inspección. Se considerará que la armadura se encuentra en mal estado si se aprecia un proceso de corrosión avanzado, disgregación, desprendimiento manual de material o en general, si se constata que la barra ha perdido más del 10% de su sección teórica. En caso de presencia de armaduras en mal estado, se procederá a su reposición. Ésta se efectuará incrementando el área de hormigón picada hasta los extremos de la barra que presenten un buen estado de conservación,



incrementando la misma una longitud de solape, cortando el tramo de barra afectada y colocando una barra corrugada del mismo diámetro (o el inmediatamente superior posible) en el mismo plano de armado, en paralelo a la removida y cogida a la primera mediante alambre metálico.

6) CHORREADO Y LIMPIEZA DE ARMADURAS

En caso de que se estime que la armadura presenta un estado aceptable de conservación, se procederá a la limpieza de las mismas mediante chorro de arena a media presión, entre 5 y 10 Atm, por vía seca o húmeda, con el fin de eliminar grasas, aceites, partículas sueltas, polvo, lechadas y óxido en las armaduras, hasta conseguir un color gris metálico y un grado de preparación de la armadura Sa 2 ½.

7) PASIVACIÓN DE ARMADURAS

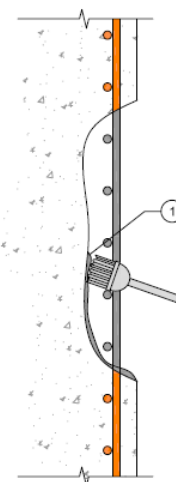
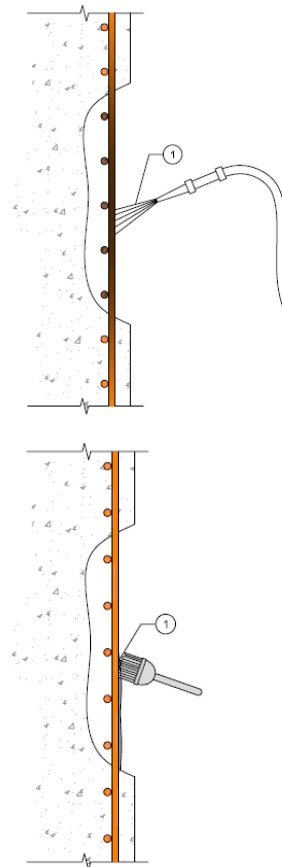
Una vez la armadura esté limpia y decapada de óxido, se procederá a la pasivación de la misma mediante un compuesto a base de polímeros en dispersión acuosa, aglomerantes cementosos e inhibidores de la corrosión. En caso de que las armaduras a proteger o descubiertas durante la reparación tengan suficiente recubrimiento, según proyecto o según las especificaciones del producto, se aplicará solamente una capa, y con el producto seco, se procederá a la siguiente fase. En caso contrario, si no hubiera suficiente recubrimiento, se aplicarán dos capas, con un espesor total aproximado de 2 mm, y con la segunda capa seca, se procederá a la siguiente fase.



Fig. 2.74: Aplicación de pasivador en la armadura. www.quimilock.es)

8) APLICACIÓN DE PUENTE DE UNIÓN

Una vez saneadas o repuestas las armaduras, se procederá a la aplicación de un producto que actúe como puente de unión para mejorar la adherencia entre el hormigón existente y el material de reparación, con el fin de lograr la óptima transmisión de esfuerzos. Para nuestro caso, el de hormigones con patología de ataque por cloruros, se debe aplicar un puente de unión con base epoxi



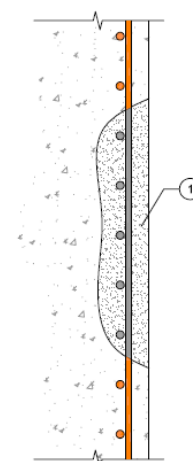
para aislar los morteros de reparación y las armaduras de la difusión de los cloruros existentes en el hormigón.

Previa a la aplicación de la lechada, se debe humedecer la superficie de hormigón hasta saturación. Se aplicará la misma con brocha o cepillo, extendiéndola por toda la superficie. Se deberá aplicar el mortero de reparación mientras en puente de unión presente pegajosidad. En caso de haberla perdido, se deberá aplicar una nueva capa sobre la existente.

Para las armaduras, en caso de que se utilice el pasivador también como puente de unión, se deberá aplicar el mortero de reparación con la última capa aún fresca, sin esperar a que seque.

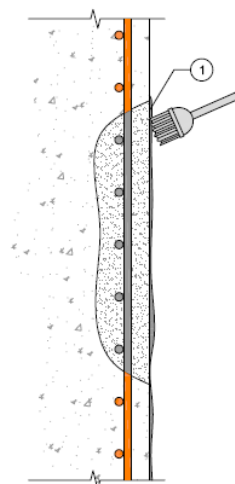
9) MORTERO DE REPARACIÓN ESTRUCTURAL

Una vez aplicado el puente de unión, y con el mismo aún fresco, se procederá a la reconstrucción del volumen de hormigón eliminado con mortero de reparación estructural, con el fin de devolverle al elemento las prestaciones mecánicas, su forma y estado original. Se utilizará para la reparación mortero con formulación a base de polímeros y humo de sílice, con inhibidores de corrosión incorporados y fibras sintéticas. El mortero se aplicará con llana, espátula o pistola en una capa de hasta 50 mm. Si la zona a reparar tiene un espesor mayor, se realizará un encofrado de la superficie, con especial cuidado en el sellado para evitar fugas de material, y se colocarán inyectores mediante taladros, por los que se inyectará mortero fluido.



10) REVESTIMIENTO DE PROTECCIÓN

Finalizados los procedimientos de limpieza de paramentos, inyección de fisuras y reconstrucción de los elementos de hormigón, se procederá a la aplicación de un revestimiento protector. El revestimiento debe ser permeable al vapor de agua pero impermeable al agua líquida, presentando bajas absorciones capilares. Debido al ambiente agresivo, debe mostrar resistencia a la difusión del CO_2 y los cloruros y resistencia frente a los sulfatos. Además, debe tener buena adherencia sobre el hormigón, resistencia a la abrasión, capacidad para el llenado y puenteo de fisuras, y durabilidad.



2.6.2 REFUERZO ESTRUCTURAL MEDIANTE COMPOSITES.

Existen ocasiones en las que es necesario realizar un refuerzo estructural puesto que los procesos corrosivos han debilitado mucho la estructura con lo que no está en disposición de aguantar por sí sola las cargas a las que está sometida. En España existe un parque de estructuras tanto en obras de edificación como civil que requiere de su reparación debido a la degradación, actualización a nuevas normativas, cambios de uso. Para dar respuesta a estas exigencias, surgió el refuerzo mediante platabandas de acero. Pero debido a su alto coste de fabricación, al ser elementos muy pesados, dificultosa colocación y a su rápido deterioro por corrosión, limitaron su uso. Más recientemente (unos 25 años atrás) aparecieron los polímeros reforzados con fibras (FRP, fiber-reinforced polymer) como sustitutivo a las platabandas de acero.

Se entiende como material compuesto (composite) el material bifásico (fibra y matriz) fabricado de forma que el conjunto presenta mejores propiedades que la suma de los materiales constituyentes por separado. Los materiales componentes son identificables físicamente existiendo una interfaz entre ellos. Aunque esta definición incluye una gran diversidad de materiales (entre los materiales de construcción el hormigón armado es el ejemplo más habitual), utilizaremos el término material compuesto para referirnos a los polímeros armados con fibras (fibre reinforced polymers, FRP).



Fig. 2.75: Tipos de materiales compuestos. (http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?pid=S0870-83122009000200003&script=sci_arttext)

Dentro del compuesto las fibras del refuerzo pueden quedar orientadas de diversas formas:

- De forma unidireccional (fibras largas)
- De manera aleatoria (Fibras cortas)
- Con disposición ortogonal (mallas ortogonales)
- En varias capas alternadas

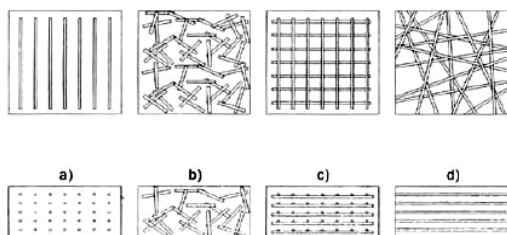


Fig. 2.76: Tipos de composites fibrosos. (http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?pid=S0870-83122009000200003&script=sci_arttext)

Se trata de un material formado por dos fases: fibras y matriz como ya hemos comentado. En general las fibras son las responsables de las propiedades resistentes del material compuesto, mientras que la matriz envuelve a las fibras configurando geométricamente el elemento, transmite los esfuerzos entre las fibras y las protege de posibles daños mecánicos o ambientales.

Las matrices de los composites se pueden clasificar en termoestables o termoplásticas, los más empleados en construcción suelen ser los termoestables.

MATRICES POLIMÉRICAS	
TERMOESTABLES	TERMOPLÁSTICAS
<i>Poliésteres Insaturados (UP)</i> <i>Vinilester (VU)</i> <i>Epoxi (EP)</i> <i>Fenolicas (PF)</i> <i>Polyimidas (PI)</i>	<i>Nylon</i> <i>Poliésteres saturados (PET-PBT)</i> <i>Policarbonato (PC)</i> <i>Poliacetato</i> <i>Poliamida (PA)</i> <i>Polieter-Eter Ketona (PEEK)</i> <i>Polisulfonato (PSUL)</i>
ELASTOMEROS	
<i>POLIURETANO (PU)</i> <i>SILICONAS (SI)</i>	

Tabla 2.14. Clasificación de matrices en Materiales compuestos. Elaboración propia.

Los FRP han comenzado a utilizarse como materiales de construcción debido a que poseen ciertas propiedades que hacen que su uso pueda resultar potencialmente ventajoso frente a materiales tradicionales como el hormigón o el acero. Entre estas propiedades pueden citarse:

1. Gran ligereza y buenas características mecánicas, destacando sus elevadas resistencia y rigidez específicas y buena resistencia a la fatiga. Esto se traduce en economía y facilidad de transporte y puesta en obra, reduciéndose los plazos y costes de ejecución, sin olvidar la reducción de cargas muertas o, en el caso de aplicaciones en refuerzos, la mínima modificación que supone en las dimensiones del elemento reforzado.
2. Resistencia a la corrosión y al ataque de agentes ambientales, una ventaja importante en aplicaciones costeras, marinas y en general en todos aquellos ambientes que sean agresivos, siendo el mantenimiento prácticamente nulo
3. Poseen una baja conductividad térmica y no producen interferencias con campos electro-magnéticos, lo que les hace insustituibles en algunas aplicaciones.



4. Presentan gran libertad de formas y diseños, y existe la posibilidad de moldeo en grandes piezas, por lo que en ocasiones de difícil ejecución con materiales tradicionales, se puede contemplar su utilización sin ningún tipo de limitaciones desde el punto de vista de proceso de fabricación. Eligiendo el tipo de fibra y la matriz, el porcentaje de refuerzo y la orientación de las fibras, puede diseñarse el material con las características que requiera cada aplicación

Existe una gran variedad de aplicaciones de polímeros armados con fibras. Atendiendo a su funcionalidad, los principales formatos en que se aplican estos materiales son:

- 1) *Laminados de FRP para refuerzo exterior.* Se utilizan principalmente laminados de fibra de carbono y resina epoxi, que pueden ser de dos tipos: laminas prefabricadas (fibra+resina) que posteriormente se adhieren a la estructura, y hojas o tejidos de fibra que se aplican junto con la resina a la estructura formándose el material compuesto in situ al curar la resina.
- 2) *Redondos de FRP para armar* el hormigón en lugar de la armadura de acero tradicional, para evitar el acero y los consiguientes problemas de corrosión, mantenimiento, etc.
- 3) *Cables y tendones de pretensado*, principalmente con fibra de carbono y aramida. Se utilizan debido a sus elevados módulo y resistencia específicos, excelentes comportamiento a fatiga y resistencia a la corrosión, para reducir costes de mantenimiento.
- 4) *Perfiles de FRP o elementos tipo sándwich* como alternativa a la estructura clásica de hormigón armado o metálica en la construcción de pasarelas y puentes.

Como hemos comentado estos materiales compuestos están formados en su mayoría (para este tipo de reparaciones) por una matriz polimérica y fibras de carbono, vidrio o aramida. Normalmente se comercializa en forma de bandas que se pegan al elemento a reforzar mediante un adhesivo. En la siguiente tabla se muestran las parejas más habituales de matrices y fibras para composites.

MATRIZ	FIBRA
POLIESTER	VIDRIO
VINILESTER	VIDRIO
	ARAMIDA
EPOXI	VIDRIO
	ARAMIDA
	CARBONO
FENOLICA	VIDRIO

FIBRAS DE CARBONO [76]

Se obtienen a partir de una fibra previa, a la cual se le llama "precursor" y que puede ser el PAN (poliacrilonitrilo), en cuyo caso el proceso se denomina PAN, o el PITCH, que es una especie de alquitrán, en cuyo caso el proceso se denomina PITCH. En ambos procedimientos, se pasa por unas fases sucesivas de: tratamiento térmico e hilado, calentamiento hasta 1.000 ó 2.000 °C según el proceso, carbonización y grafitización.

De esta forma se consiguen fibras de carbono de alto módulo con alta o baja resistencia.



Fig. 2.77 Fibra de Carbono vista al microscopio. (http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fibra_de_carbono_vista_con_una_lupa.)

Previo a la grafitización se han obtenido fibras de carbono de bajo módulo y alta resistencia. Por lo que a las fibras de carbono de alto módulo deberían denominarse fibras de grafito.

Las características más importantes de las fibras de carbono o grafito son las siguientes:

- *Gran rigidez.*
- *Bajo peso.*
- *Alta resistencia.*
- *Coefficiente de dilatación muy bajo, lo que le proporciona una gran estabilidad dimensional a las estructuras.*
- *Conductividad térmica elevada.*

- Alto coste.
- Baja resistencia al choque.
- Favorece corrosiones de tipo galvánico debido a las diferencias de potencial que genera en contacto con los metales.

La relación características/precio es bastante alta, por lo que su uso en la edificación se limita a actuaciones de reparación y refuerzo estructural

En las siguientes imágenes podemos ver las diferentes aplicaciones de la fibra de carbono en los casos de reparación y refuerzo estructural



Fig. 2.78 Muestras cedidas por la empresa DRIZORO sobre las aplicaciones de fibra de Carbono en la rehabilitación estructural. Elaboración propia

FIBRAS DE ARAMIDA. [76]

Las fibras de aramida son orgánicas y sintéticas y se obtienen mediante un proceso de extrusión e hilado a partir de poliamidas aromáticas del tipo politereftalato de polifenilendiamida.

Existen distintos tipos de fibras de aramida siendo el Kevlar la que ha tenido el mayor éxito comercial. Las cuatro principales son: Kevlar RI, Kevlar 29, Kevlar 49 y Nomex. De todas ellas es el Kevlar 49 la fibra que más se utiliza para los composites de altas prestaciones.



Fig. 2.79. Malla Kevlar 1x1.(www.clickcarbono.com)

Las principales características de las fibras de aramida en general y del Kevlar en particular, son:

- *Muy bajo peso.*
- *Gran resistencia al impacto.*
- *Gran resistencia a la tracción.*
- *Muy baja resistencia a la compresión.*
- *Escasa adherencia a matrices termoplásticas.*
- *Resistencia a agentes químicos.*
- *Estabilidad mecánica entre -30 °C y +200 °C.*

Es muy importante que el aditivo elegido sea compatible con los demás componentes del compuesto y que sus propiedades sean, como mínimo, las exigidas al composite, para no disminuir las características exigidas al mismo.

FIBRAS DE VIDRIO. [76]

Son las más utilizadas como refuerzo en los composites aplicados a la construcción, debido, fundamentalmente, a la excelente relación existente entre características y precio. Las fibras de vidrio están elaboradas con las mismas

materias primas que el vidrio: sílice, cal, alúmina y magnesita, a las cuales se les añaden ciertos óxidos en porcentajes muy estrictos, según los tipos de fibras que se quieran obtener.



Fig. 2.80: Malla Fibra de Vidrio. (www.redefibra.com)

Todos estos componentes se mezclan y trituran hasta conseguir una mezcla homogénea que se introduce en un horno de fusión a la temperatura de 1550 °C, en el cual la mezcla pasa progresivamente a un estado líquido. El vidrio en estado líquido pasa por las hileras, por centenares de orificios de 1 a 2 mm de diámetro, a la salida de los cuales son estirados mecánicamente hasta conseguir unos filamentos de 5 a 24 micras, dependiendo de las aplicaciones. Posteriormente se revisten estos filamentos con una dispersión acuosa de compuestos, generalmente orgánicos, operación denominada "ensimaje" que garantiza la unión entre filamentos y la protección del hilo. Los filamentos, una vez revestidos, se reúnen para formar el hilo al que finalmente se le da un acabado textil o plástico.

Las presentaciones industriales de la fibra vidrio para su uso como material de refuerzo de las matrices orgánicas son las siguientes:

- *Mat: fieltros de hilos cortados o continuas aglomerados entre sí mediante un ligante químico.*
- *Roving: bobinas de filamentos (roving directo) o hilos de vidrio (roving ensamblado) que han recibido un ensimaje plástico.*
- *Tejido: superficies constituidas por mechas de roving directo en trama y urdimbre, tratados principalmente con ensimaje plástico.*
- *Hilos cortados: hilos cortados generalmente en longitudes de 3 a 12 mm.*
- *Fibras molidas: fibras trituradas hasta longitudes comprendidas entre 0,1 y 0,02 mm. Manteniendo su diámetro entre 10 y 17 micras.*

Las principales características de estas fibras son las siguientes:



- *Buenas resistencias mecánicas.*
- *Buen aislante eléctrico.*
- *Baja densidad.*
- *Incombustibilidad.*
- *Estabilidad dimensional.*
- *Imputrescibilidad.*
- *Buena flexibilidad.*
- *Bajo costo.*
- *Buena resistencia a agentes químicos.*
- *Baja rigidez.*
- *Menor resistencia a la fatiga que otras fibras.*
- *Alta dureza.*

Como hemos comentado actualmente se está investigando las aplicaciones de Redondos de FRP para armar el hormigón en lugar de la armadura de acero tradición.

En este caso presentamos las características de redondo fabricado por pultrusión para uso como armadura de hormigón. Está compuesto por una matriz a base de resina de Vinyl ester con un armado de roving de fibra de vidrio.

[77]

Su tipología puede resumirse como un núcleo de fibras de vidrio embebido en una matriz de resina polimérica zunchada por tejidos de la misma fibra hasta conseguir la forma y sección deseada.

El redondo se fabrica con un recubrimiento de granulado de cuarzo, adherido por resina resistente a altas temperaturas, cuyo fin es garantizar su adherencia al hormigón.

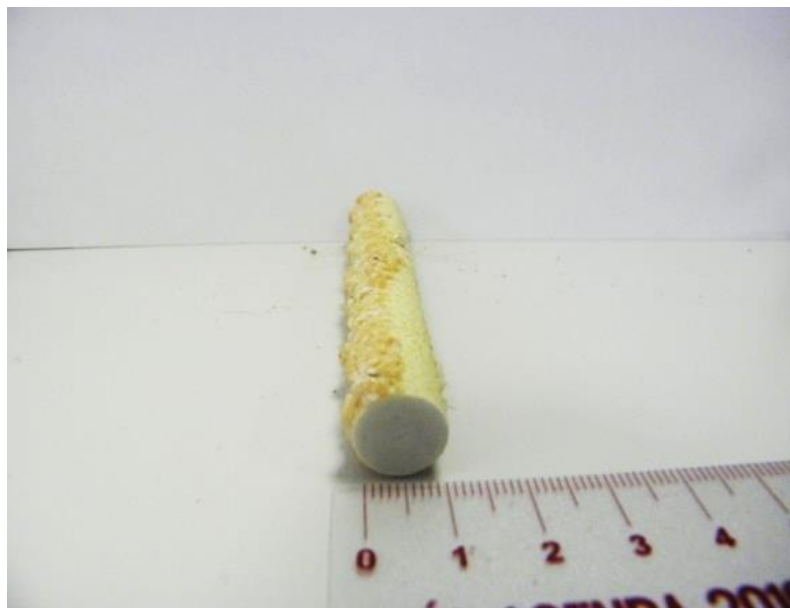


Fig. 2.81. Armadura de fibra de vidrio. Muestras cedidas por rthpultrusystems. Redondos técnicos homologados. Elaboración propia

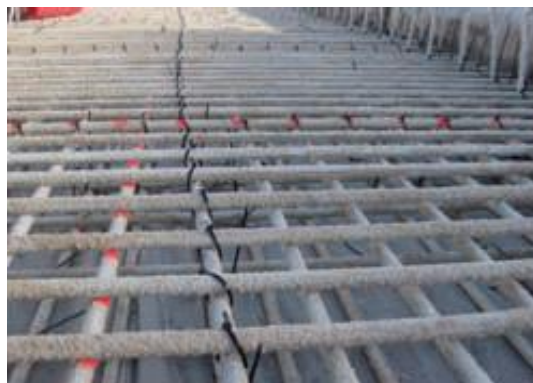


Fig. 2.82. Detalle de armadura de fibra de vidrio. (<http://www.rthpultrusystems.com/>)

PROPIEDADES FÍSICAS (varía según diámetros)		PROPIEDADES MECÁNICAS (valores característicos probabilidad 95%)	
Color:	Beig	Valor	Norma ensayo
Peso Específico (solo núcleo pultrusión):	1.98 Kg/dm ³	Resistencia a tracción (MPa)	703,0 - 972,0 ACI440-3R
Fibra vidrio (vol.).....	77%	Resistencia límite de proporcionalidad	413,0 - 504,0 ACI440-3R
Componentes: Vinyl ester (vol.).....	23%	Módulo de elasticidad (GPa)	34,1 - 41,9 ACI440-3R
Granulado cuarzo(peso).....	33%	Resistencia a compresión (MPa)	288,3 - 509,9 ACI440-3R
		Módulo de elasticidad (GPa)	42,5 - 48,7 ACI440-3R
		Alargamiento a rotura (%)	1,3 - 3,1 ACI440-3R
		Tensión de adherencia (MPa)	5,91 ACI440-3R
		Modulo Poisson	0,3

Fig.2.83. Características de este tipo de armaduras de fibra de vidrio. (<http://www.rthpultrusystems.com/>)

Las principales características de estas armaduras son:

- No están sujetos a los efectos de la corrosión.*
- Mejor comportamiento frente al fuego que las armaduras de acero, en elementos de hormigón armado.*
- Mejor relación resistencia/peso de todos los materiales estructurales de uso común.*
- Permeabilidad total a todo tipo de radiaciones tales como eléctricas, magnéticas o de radiofrecuencia.*
- Trabajar a esfuerzos de compresión.*
- Óptimo coste económico*
- Económico montaje en obra por reducción de pesos (pesa la cuarta parte que el acero), frente a la ferralla normal.*
- Fabricado con subproductos del petróleo, lo que incrementa su valor ecológico al reducir emisiones de CO₂.*

La fibra de vidrio es extremadamente resistente a la corrosión, al igual que la fibra de carbono, aunque ésta es mucho más cara por su especial proceso de fabricación. Además, la fibra de vidrio resulta dos veces más resistente que el acero por el mismo diámetro de material”, lo que significa que para muchas construcciones existe la posibilidad de reducir el volumen de las columnas al no tener que introducir tanta armadura en el hormigón.

En la siguiente tabla podemos establecer una comparación entre las diferentes propiedades de las fibras anteriormente descritas.

PROPIEDADES	FIBRA DE CARBONO	FIBRA DE ARAMIDA	FIBRA DE VIDRIO
Resistencia a tracción	Muy Buena	Muy Buena	Muy Buena
Resistencia a compresión	Muy Buena	Inadecuado	Buena



Módulo de elasticidad	Muy Buena	Bueno	Adecuado
Comportamiento largo plazo	Muy Buena	Bueno	Adecuado
Comportamiento fatiga	Excelente	Buena	Adecuado
Resistencia a álcalis	Muy Buena	Buena	Inadecuado
Precio	Adecuado	Adecuado	Muy Bueno

Tabla 2.15. Tabla comparativa entre las diferentes propiedades de las fibras. Elaboración propia



2.7 MEDIDAS DE PREVENCIÓN.

Como ya hemos visto a lo largo de esta tesis, en las estructuras de hormigón armado la corrosión de la armadura es una de las patologías más frecuentes, el aumento de volumen en las armaduras de acero, producto de la oxidación, provocan la aparición de fisuras y desprendimientos en el hormigón.

Por tanto podemos definir al medio ambiente como la principal causa en la aparición de la corrosión, ya que produce la carbonatación en el hormigón, que es un proceso químico natural en el cual, los distintos óxidos de carbono (CO y CO_2) presentes en la atmósfera penetran por los poros y capilares disminuyendo la alcalinidad natural del cemento que protege al acero de la corrosión, convirtiendo de esta forma al hormigón en un material débil y poroso, con lo que aumenta el riesgo de corrosión en la armadura.

Al mismo tiempo tiene gran incidencia la aparición del ion cloro en estas estructuras ya que penetra por difusión y absorción en el hormigón hasta llegar a la zona de influencia de las armaduras donde se inician procesos corrosivos de gran severidad.

Existen formas de prevenir la aparición de estas patologías, fundamentalmente se encuentran en el proceso constructivo, para lo cual, es necesario seguir unas determinadas pautas de actuación:

- a) Calidad del cemento: Que el hormigón se fabrique con un contenido de cloruros limitado.*
- b) Relación agua/cemento: El exceso de agua provoca la pérdida de resistencia y habrá mayor evaporación, causando mayores deformaciones por contracción y aumento de la porosidad en el hormigón.*
- c) Recubrimiento la armadura, Debe tener como mínimo de 2cm de hormigón, para evitar que el proceso de carbonatación en el hormigón llegue a la armadura. Según el tipo de ambiente la Instrucción EHE 08 regula la dimensión del espesor mínimo de recubrimiento que ha de tener la armadura.*

Debemos de tener en cuenta que tal y como se explicó con anterioridad:

- 1) Los procesos de difusión a través de los cuales penetra en el hormigón el CO_2 y demás agentes atmosféricos según una ley función raíz cuadrada del tiempo o según la segunda ley de Fick (cloruros).*
- 2) La humedad influye de manera diferente sobre los distintos procesos ya que aun cuando la carbonatación es más lenta en ambientes muy secos ($\text{HR} < 45\%$) o muy húmedos ($\text{HR} > 85\%$). La corrosión del acero es máxima si la humedad es media o alta pero sin llegar al estado de saturación.*
- 3) La temperatura acelera las reacciones químicas en general.*

Es fundamental seguir las pautas que las diferentes normativas al respeto establecen para que no haya problemas de corrosión en los distintos elementos estructurales, sobre todo en ambientes agresivos.

También se pueden utilizar para este tipo de casos como medida de precaución, los inhibidores de corrosión. Estos están basados en la combinación de inhibidores orgánicos e inorgánicos, compuestos por aminoalcoholes (AMA). Los



inhibidores basados en aminoalcoholes no alteran ninguna de las características del hormigón fresco o endurecido y forman alrededor de las armaduras una película protectora. De tal manera que otorgan una protección anódica (inhibe la ionización del acero) y catódica (obstruye el oxígeno disponible en la superficie del acero).

Además una importante ventaja frente a otros inhibidores es que no tiene ningún efecto nocivo para el medio ambiente.

Los inhibidores de esta forma, se utilizan a modo de aditivos que se adicionan en pequeñas cantidades al hormigón, en el momento de su confección, actúan de manera que impiden que la reacción electroquímica ocurra.



CAPITULO 3 FASE EXPERIMENTAL / INVESTIGACIÓN ESTUDIO CORROSIÓN

3.1 INTRODUCCIÓN A LAS ESTRUCTURAS SELECCIONADAS

Para la realización de la fase experimental del trabajo se han seleccionado 3 estructuras con distintas patologías relacionadas con procesos corrosivos y situadas en ubicaciones diferenciadas, de modo que podamos establecer un análisis comparativo entre ellas.

Realizaremos inicialmente un análisis de las diferentes estructuras, desde donde elegir datos que nos servirán para poder analizar las consecuencias que tienen en los procesos corrosivos características como: la ubicación, calidad de materiales, condicionantes climáticos etc.

Una vez ubicadas las estructuras en su entorno, realizaremos un estudio teórico sobre los daños que deberían presentar las estructuras de hormigón en cuanto a: resistencia a compresión, carbonatación, cloruros y sulfatos, para posteriormente confrontarlos con los resultados reales de ensayos realizados in situ, y así poder ver la variación existente entre ellos.

En una fase posterior, podremos analizar estos resultados y establecer pautas de actuación para regeneración de estructuras situadas en ambientes similares, así como sacar conclusiones respecto a estos sistemas de actuación.

Las estructuras a analizar serán las siguientes:

- **TORRE VIGILANCIA CASTILLO SAN SEBASTIAN (CÁDIZ)**
- **VILLA EL CASTILLITO SANLUCAR DE BARRAMEDA (CÁDIZ)**
- **EL CANAL CALZAS ANCHAS DE UTRERA (SEVILLA)**

3.1.1 TORRE DE VIGILANCIA CASTILLO DE SAN SEBASTIÁN (CÁDIZ)

El conjunto de las edificaciones defensivas del Castillo de San Sebastián y Avanzada de Santa Isabel está situado en uno de los extremos de la playa de la Caleta, frente al Castillo de Santa Catalina, sobre una pequeña isla desde la que se protegía el frente norte de la ciudad de Cádiz. Se encuentra unido a tierra con un malecón que corresponde a la calle de Fernando Quiñones.



Fig. 3.1. Esquema de situación del Casillo de San Sebastián en Cádiz.

(<http://www2.uca.es/orgobierno/rector/Cádiz%20ciudad%20fortificada/Planos%20de%20situacion/slides/Cádiz%20interior.html>)

3.1.1.1 SITUACIÓN

El Castillo de San Sebastián se ubica en el lugar donde estuvo la antigua ermita de San Sebastián. A principios del siglo XVII se construyó el antiguo Castillo, que fue transformado en 1706. Sus muros formaban un polígono de nueve lados con dos ángulos entrantes y el resto salientes.

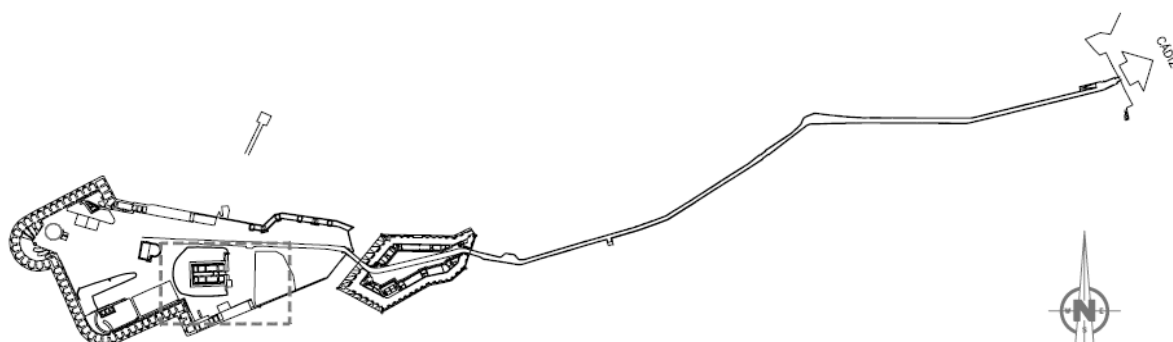


Fig. 3.2. Plano de situación del Casillo de San Sebastián en Cádiz. Planos cedidos por Tragsatec Sevilla.



Fig. 3.3 .Foto aérea del Casillo de San Sebastián en Cádiz. Fotos cedidas por la empresa Tragsa 2008,

Todo el perímetro estaba provisto de parapeto con cañoneras y foso de agua con dos puentes levadizos. Ante el foso había una plaza de armas que defendía todo el terreno de la isla. En el ángulo noroeste se encontraba una Torre almenara y la ermita de San Sebastián. Toda la isla estaba protegida por un parapeto en todo su perímetro, excepto en el frente sur, que se dejaba con su defensa natural.

En 1706, se inician las obras del Castillo, de planta irregular con nueve lados, con parapetos, cañoneras, dos fosos de agua y puentes levadizos.

En 1739, controlaba con su artillería la entrada de la Caleta y el canalizo sur de la Bahía.

Posteriormente, en 1860 en la zona de avanzada se construyó una imponente batería acasamatada. Durante el siglo XIX se levantó un largo malecón por el que el Castillo quedaba unido a tierra, a la puerta de La Caleta, ya que en un principio tenía que esperarse a la bajamar para acceder al Castillo. En su interior se levanta un faro con estructura de hierro, construido en el año 1908. Posteriormente se inicia la construcción de la Torre de Vigilancia (1949) la cual es motivo de estudio en este trabajo.

3.1.1.2 CARACTERIZACIÓN DE LA EDIFICACIÓN.

El Castillo de San Sebastián y la avanzada de Santa Isabel son un conjunto de edificaciones situadas al Oeste del casco histórico de la ciudad de Cádiz, frente a la playa de la caleta, unidos a tierra mediante un malecón. Aunque se estima que ya desde la época romana existían edificaciones en el lugar, el conjunto edificatorio del Castillo se construyó sucesivamente entre los siglos XVIII y XIX.

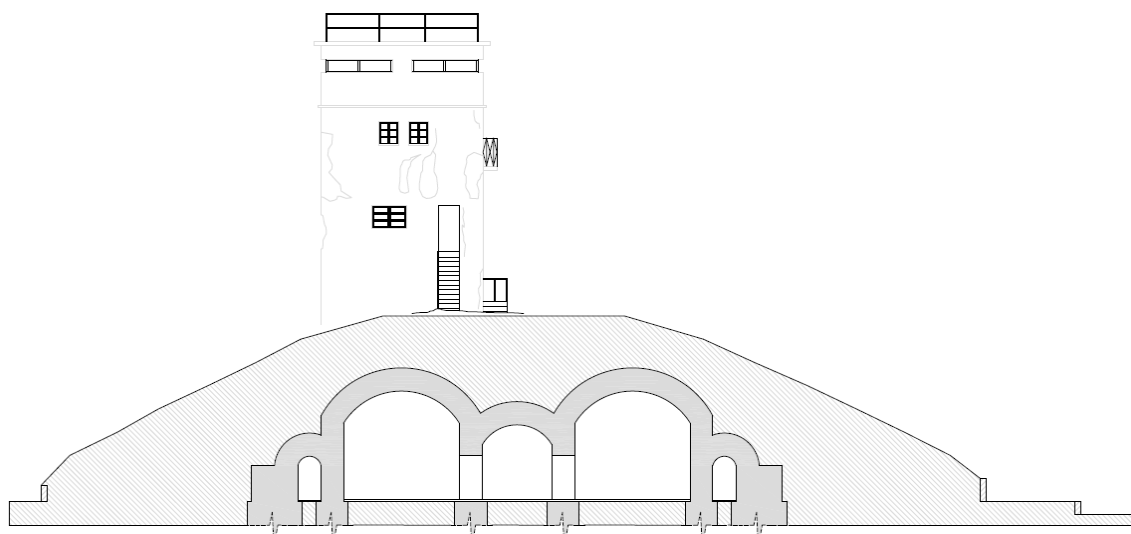


Fig. 3.4. Sección longitudinal de las bóvedas del polvorín. Planos cedidos por Trasatec Sevilla 2008.

En el centro del conjunto edificatorio de la Avanzada de Santa Isabel se encuentra una edificación de planta rectangular, situada sobre un tell o montículo artificial que esconde diferentes dependencias acorazadas. En el interior de esta falsa montaña se instalaron inicialmente los departamentos del polvorín existente en la fortificación del Siglo XIX.

La Torre, junto con el malecón que une el Castillo con la ciudad de Cádiz, es el elemento más reciente del conjunto fortificado. El polvorín parece datar de la época de construcción de la Avanzada, mientras que la Torre Vigía, fue construida a mediados del siglo pasado.

El polvorín está compuesto por un conjunto formado por tres bóvedas rebajadas, que delimitan las ocho habitaciones y el pasillo central de tránsito, así como una galería perimetral de reducidas dimensiones para ventilación, todo ello sustentando una montaña artificial de protección. La Torre Vigía es un edificio de cuatro alturas de estilo modernista andaluz, construida sobre la montaña artificial bajo la que se encuentra el polvorín. Las bóvedas del polvorín son de hormigón de granulometría poco cuidada y con un contenido bajo en cemento, lo que provoca que las prestaciones mecánicas y durables sean bajas.

No se han detectado daños en la cimentación del polvorín, y tampoco se han observado daños en las bóvedas que puedan provenir de un mal comportamiento de su cimentación.

Las habitaciones del polvorín, son de planta rectangular y su estructura se compone de bóvedas rebajadas que apoyan en pilas-tabique de 1,00 m de espesor. Sobre dichas bóvedas gravita la carga de la montaña artificial, dispuesta con el objeto de proteger el polvorín del fuego de artillería enemigo en caso de ser atacado el Castillo. La montaña artificial está compuesta de materiales granulares sobre los que se construyó la Torre vigía unos 100 años después de la ejecución del polvorín.

Debido a que el polvorín fue concebido y construido para almacenar pólvora en él, es de suponer que el espesor de las bóvedas se determinó con el objeto militar de proteger la pólvora de la artillería enemiga, por lo que están sobredimensionadas para su labor civil de soportar el peso de la montaña artificial que gravita sobre dichas bóvedas.

No se dispone de datos relativos a la tipología ni cota de cimentación del polvorín. Estimamos que su cimentación debe de apoyar sobre una base de rellenos cementados mediante mortero de cal, hasta llegar a estrato competente. Encima de la montaña, sobre el polvorín, se construyó a mediados del siglo XX una Torre Vigía y de mando.



Fig. 3.5. Alzado Este de la edificación (frontal). Elaboración propia



Fig. 3.6. Alzado Oeste de la edificación (posterior). Elaboración propia

LA TORRE

Esta Torre fue ejecutada en dos fases, tal y como delata la estructura así como documentación del estudio Histórico. La primera (1943) la elevó hasta la segunda planta. La ampliación (1960) hasta la configuración actual está atribuida al arquitecto Casto Fernández Shaw.



Fig. 3.7. Fachada principal de la Torre.

Elaboración propia



Fig. 3.8. Fachada posterior de la Torre. Elaboración propia

La Torre vigía consta de cuatro plantas con un castillete visitable sobre la última. El acceso se realiza directamente a la planta segunda y está situado en la fachada Este, a través de una estrecha escalera exterior. A la planta primera se accede mediante dos puertas que comunican directamente con el exterior, y consiste en dos habitaciones, separadas por un muro de hormigón y con un desnivel aproximado entre ellas de 0,65 m. Desde la habitación situada junto a la fachada Este puede accederse a la planta segunda mediante una escalera interior.

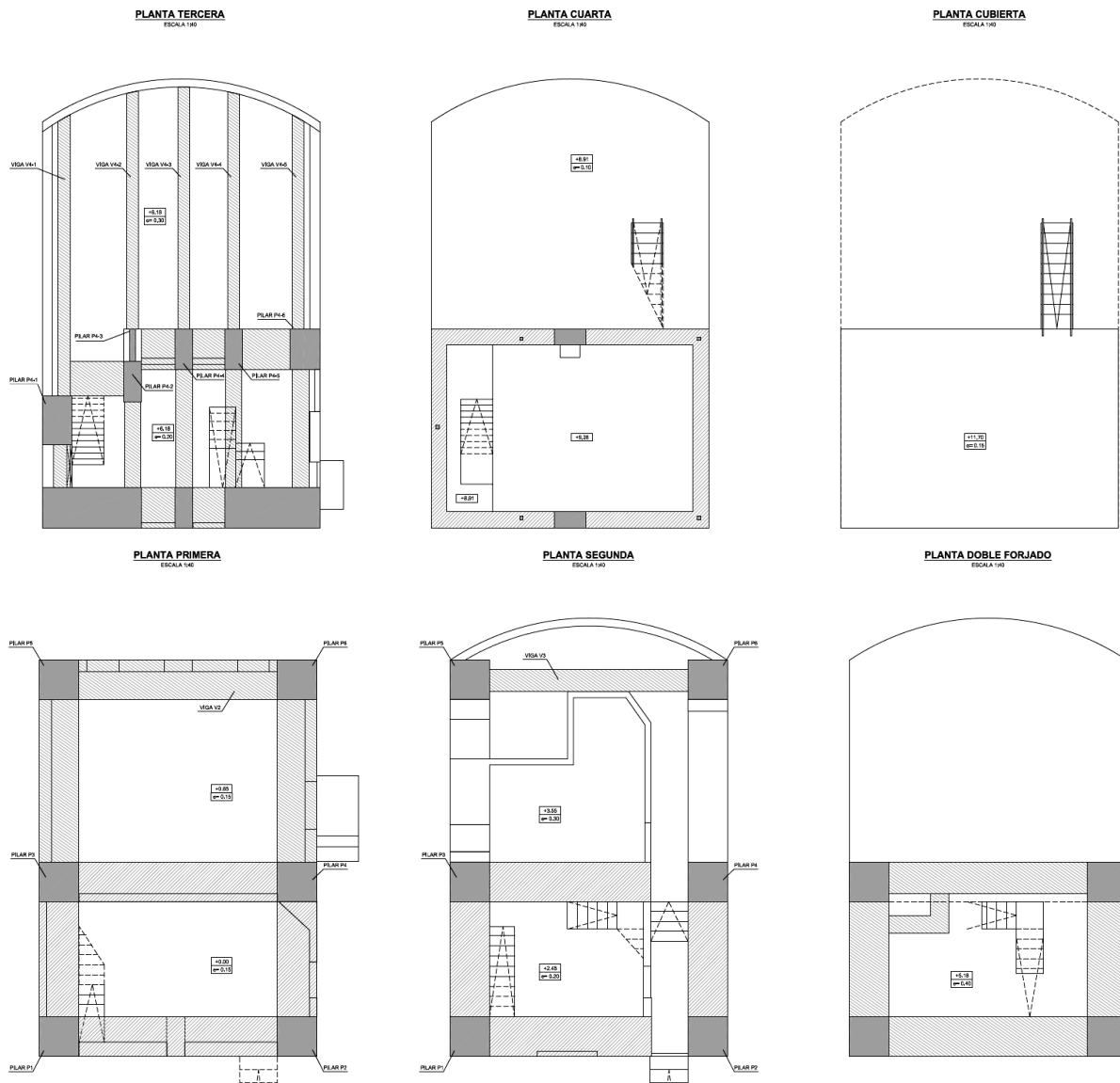
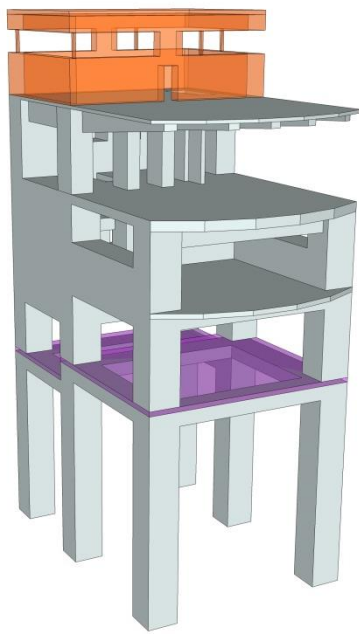


Fig. 3.9. Plantas Estado actual de la Torre. Planos cedidos por Tragsatec Sevilla 2008.

La planta segunda, al igual que la primera, está compuesta por dos niveles con una diferencia de cota aproximada de 0,90 m entre ellos, salvable mediante una pequeña escalera interior.



En la tercera planta, toda al mismo nivel, es destacable el puesto de mando, totalmente diáfano, cuya cubierta se encuentra totalmente en voladizo, sustentada por cinco vigas de canto variable.

La planta cuarta tan solo ocupa la mitad oriental del edificio, siendo el resto una amplia terraza, desde la que se puede subir a través de una escalera metálica a la cubierta del castillete.



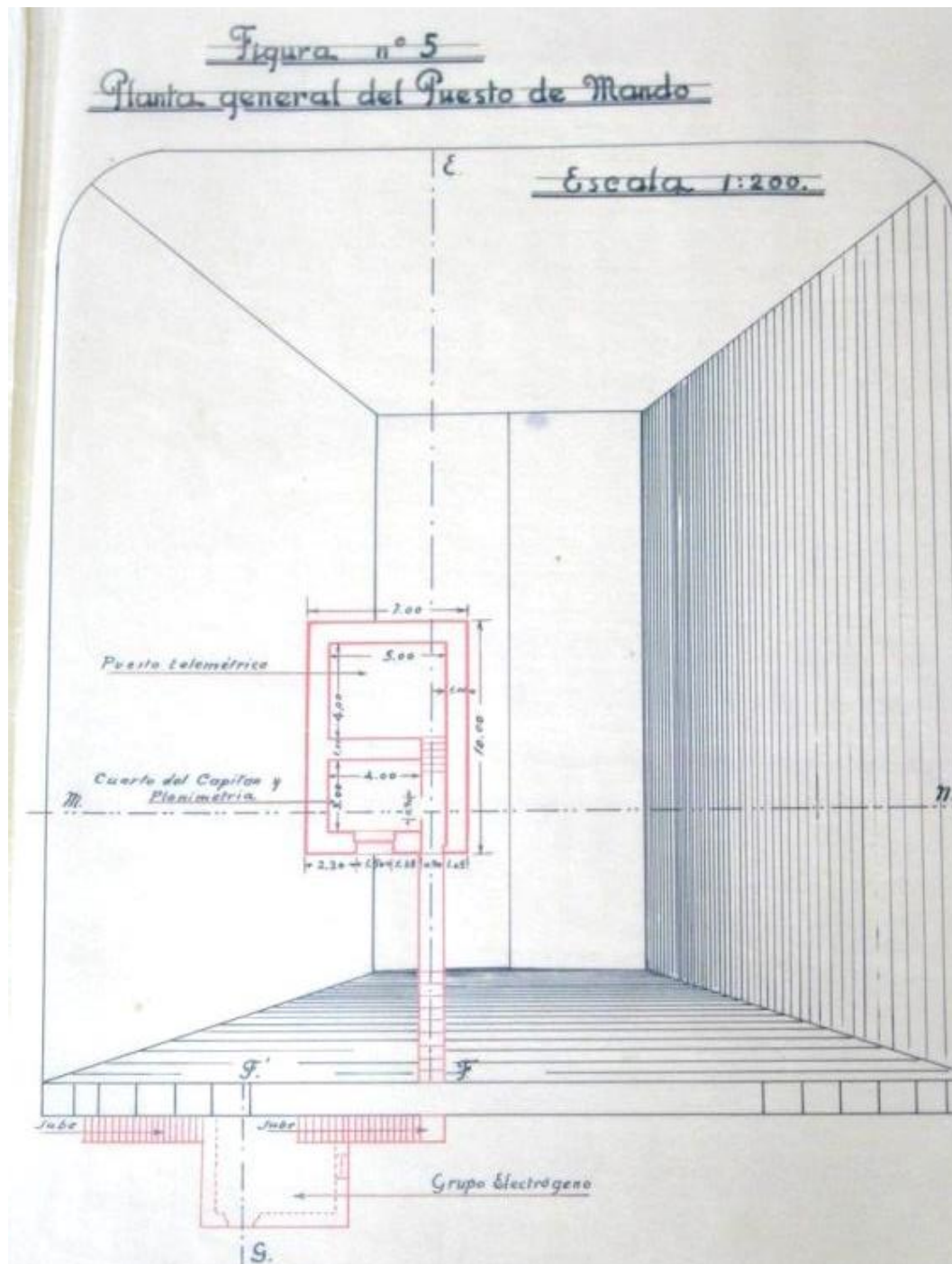
El edificio completo está sustentado por seis pilares de hormigón armado de 1,00x1,00 m, formando en planta un rectángulo de aproximadamente 7,00x10,00 m. Estos pilares llegan hasta la losa de la planta tercera, lugar en el cual los pilares más occidentales mueren debido al voladizo y la ventana corrida del puesto de mando.

Los pilares se encuentran arriostrados entre sí por varios muros de hormigón armado de 1,00 m de espesor. Dichos muros nacen en la parte superior de la planta primera, como si de una viga de descuelgue se trataran. Los muros de las fachadas Norte y Sur situados más al Oeste mueren a media altura de la planta segunda, formando petos de protección sobre los que se instalan sendas ventanas corridas. Por otra parte, los muros situados en estas mismas fachas, situados en la zona Este del edificio, así como el muro principal interior del edificio llegan hasta la losa de la planta tercera. Sin embargo, el muro de la fachada Este continúa por esta planta hasta la losa de la planta cuarta. Todos los muros son continuos sin aberturas, excepto el de la fachada Este, horadado por las puertas y ventanas que conforman dicha fachada.

Los forjados del edificio son losas macizas de hormigón armado, de espesores variables. Es singular destacar la presencia de una doble losa en la planta tercera, de 0,40 m de espesor la inferior y 0,20 la superior, con una cámara de aire de 0,80 m vacía entre ellas.

Sobre la planta cuarta se alza un castillete formado por vigas de descuelgue y una losa, apoyadas sobre el cerramiento por unos perfiles metálicos.

No se dispone de información relativa a la cimentación, pero catas de inspección realizadas en el exterior del edificio sugieren que la base de los pilares a nivel del terreno están arriostrados por vigas de hormigón, y que dichos pilares continúan con la misma forma y dimensión hacia el interior de la montaña artificial, probablemente hasta las bóvedas del polvorín tal y como aparecen reflejados en los planos militares del anteproyecto de la Torre de Mando donde el edificio se conecta al a través de los pilares que se apoyan directamente en los muros perimetrales de la bóveda izquierda del polvorín.



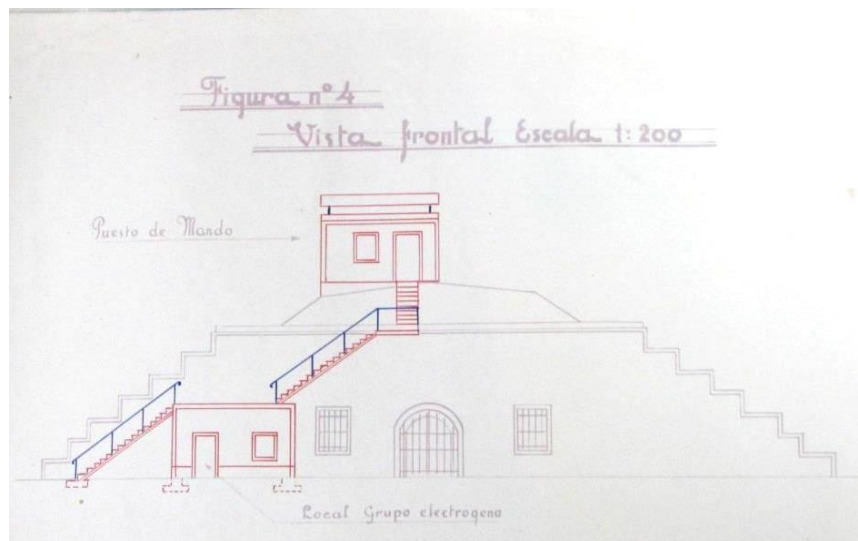


Fig. 3.12. Alzados anteproyecto Torre. Planos cedidos por el Archivo Militar.

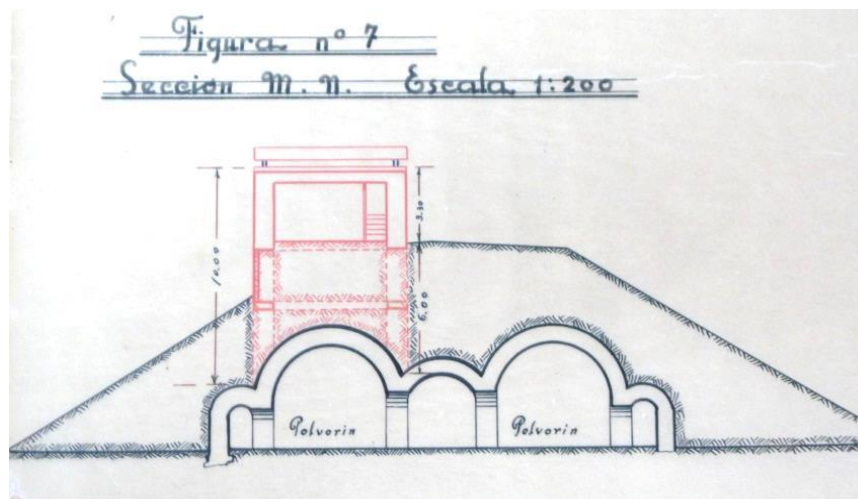


Fig. 3.13. Sección transversal anteproyecto Torre y Polvorín. Planos cedidos por el Archivo Militar

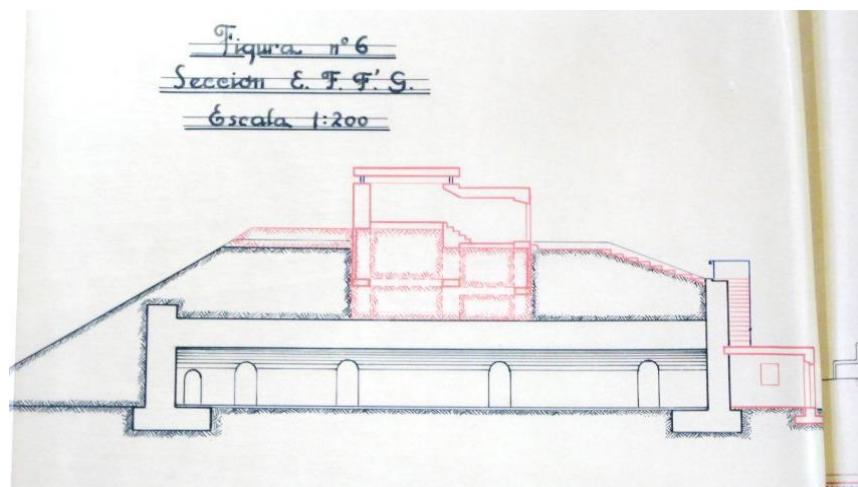


Fig. 3.14. Sección longitudinal anteproyecto Torre y Polvorín. Planos cedidos por el Archivo Militar

Se realizan una serie de catas donde se constata lo estipulado en los planos militares del anteproyecto de la Torre de mando y podemos comprobar como los pilares continúan hacia el interior del donde se unirán a los muros donde se sustentan las bóvedas del polvorín y de esta manera transmitirán los esfuerzos y las cargas producidas en la Torre al estrato resistente donde se encuentran cimentados los muros del polvorín.



Fig. 3.15. Cata cimentación Torre (pilar).Elaboración propia



Fig. 3.16. Cata cimentación Torre (riostra).Elaboración propia

3.1.1.3

CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS DEL ENTORNO

La caracterización del clima en la zona donde se encuentra emplazado el Castillo, surge de la necesidad de discriminar las posibles causas de los deterioros observados en la edificación debidos a una mala durabilidad de los materiales que la componen como hemos comentado en el anterior apartado.

La información necesaria para el conocimiento de los parámetros que han permitido la caracterización del clima se han tomado del Instituto Nacional de Meteorología. Con dichos datos se ha procedido a determinar:

En primer lugar, se han cuantificado las variables climáticas condicionantes de los procesos de deterioro detectados en los elementos del edificio, estas serían las variables termopluviométricas, incluido el número de días de sol, heladas, evapotranspiración, etc. y el viento.

En segundo lugar, a partir del estudio de estas variables y del levantamiento de daños realizado (Ver anejo 1 planos) se ha establecido un índice de susceptibilidad climática donde se analiza la potencial alteración de los materiales para los diferentes procesos de degradación.

La agresividad del medio puede cuantificarse a través del análisis de las siguientes variables climáticas:

- Temperatura: las variaciones térmicas son causantes directa o indirectamente de importantes fenómenos de meteorización como se explicará posteriormente.



- Agua: la acción del agua y los cambios de humedad son quizás los principales agentes culpables de la alteración de elementos, sus efectos van desde el lavado del material de juntas, la disolución, la hidratación de las sales solubles, el transporte de agentes nocivos, la carbonatación, entrada de cloruros y sulfatos etc.

El impacto de agua de lluvia es también otra acción asociada al agua que en algunos casos puede llegar a ser importante.

- Hielo: La acción repetido provocado por los ciclos y deshielo producen un deterioro mecánico muy importante en aquellos materiales donde el tamaño del poro sea pequeño. En este caso no es aplicable debido a la ubicación del edificio asentado en el clima meridional español donde los ciclos de hielo deshielo son muy escasos ya que la temperatura de esta zona rara vez alcanza los 0º C.

- Viento. La acción del viento y las partículas que lleva en suspensión producen degradaciones superficiales de importancia dependiendo de la naturaleza del material y del tipo de exposición de la estructura.

El Castillo se ubica en la costa Atlántica gaditana a la altura de la ciudad de Cádiz. Nos encontramos en un clima mediterráneo, por lo que se ha llevado a cabo un análisis climático general de la zona, para lo que se han recogido y analizado los datos de la estación meteorológica situada en San Fernando, posteriormente, se ha analizado la localización del Castillo ya que le confiere una susceptibilidad especial frente a las acciones climáticas por su especial exposición a la acción directa del mar y del viento.

Estación de San Fernando. Cádiz. Andalucía.

Latitud: 06º 12' 20'W

Longitud: 36º 27' 56

Altura: 30,0 m

El estudio se ha llevado a cabo mediante los análisis de los datos termopluviométricos y de viento escogidos por el Instituto Nacional de Meteorología (INM) en la estación de San Fernando, cercana al Castillo y cuyo registro histórico es muy amplio. Las variables estudiadas a partir de los datos obtenido por el Instituto Nacional han sido las siguientes:

<ul style="list-style-type: none"> • Velocidades medias de viento y dirección del mismo • Temperatura media mensual. • Precipitación media mensual. • Precipitación máxima media mensual. • Precipitación mínima media mensual. 	<ul style="list-style-type: none"> • Número de días de lluvias al año. • Días de heladas medias anual. • Mes con mayor número de heladas. • Evapotranspiración
--	--

TEMPERATURAS

El periodo de registros que nos encontramos en la estación discurre desde 1870 hasta 2000 (130 años) con lo cual consideraremos representativos los datos que nos proporcionan estos registros para analizar los fenómenos de deterioro del edificio asociado a los condicionantes climatológicos de la zona.

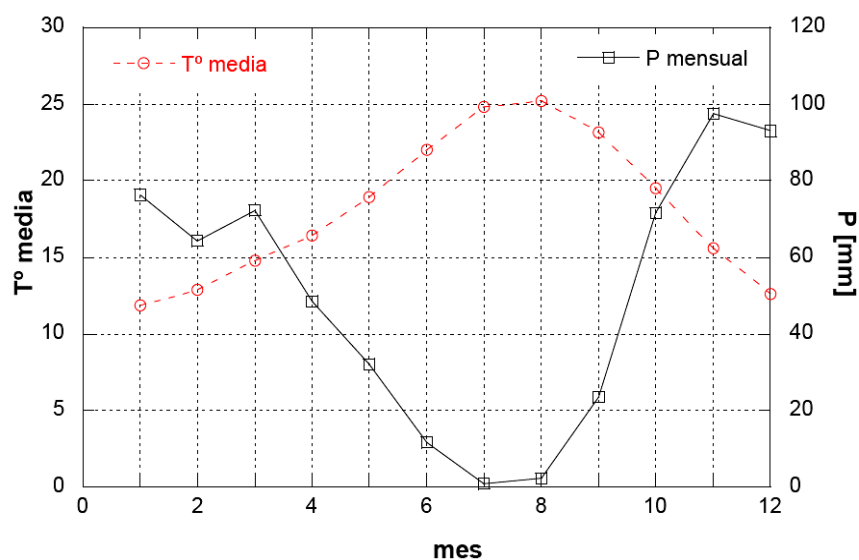


Fig. 3.17 Temperaturas medias mensuales y precipitaciones totales mensuales periodo (1870-2000) Cádiz

Observando la variación mensual de temperaturas medias respecto de las precipitaciones medias mensuales se deduce que los meses más calurosos coinciden con prácticamente la inexistencia de lluvias, que se concentran en los meses de invierno.

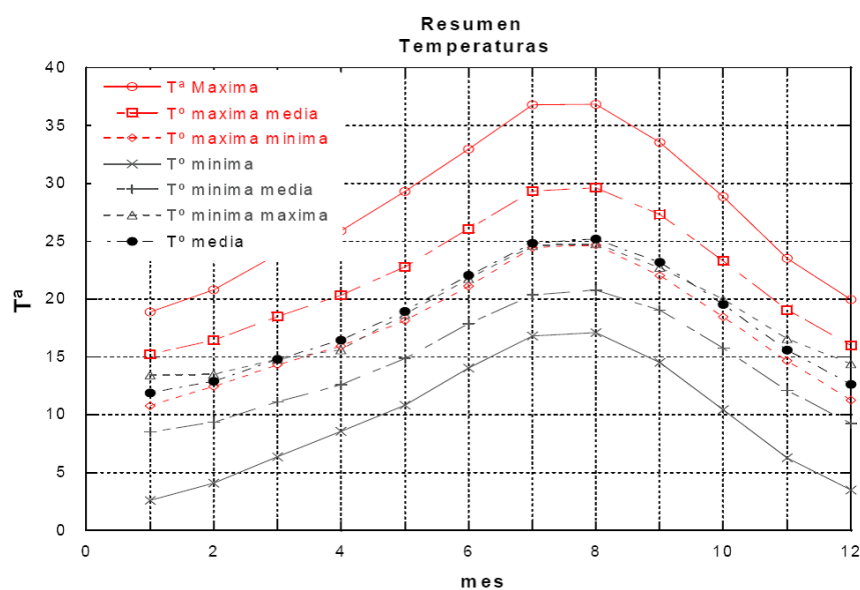


Fig. 3.18: Temperaturas medias y extremas Cádiz.

Del análisis del régimen térmico y pluviométrico a lo largo del año es posible concluir que existe un ligero gradiente térmico estacional debido a su cercanía a la costa. La diferencia entre la máxima de las máximas temperaturas y la mínima de las mínimas es de **20 °C**.

La temperatura media está por encima de los 15°C. Durante tres meses al año la temperatura media se encuentra por debajo de 15 °C.

La temperatura mínima media nunca desciende por debajo de 0 °C, siendo la mínima 3 °C, con lo cual los periodos de heladicidad están prácticamente descartados en esta zona por lo que fenómenos como rotura de poros en el hormigón por hielo y deshielo de sales y la consecuente figuración del hormigón

La temperatura máxima se da en los meses de julio y agosto, donde se llegan a alcanzar más de 35 °C. La mínima se da en los meses de diciembre y enero. Durante la primavera y el otoño las temperaturas son muy suaves. La temperatura media es de 18,1° C. Como vemos no estamos en un clima excesivamente exigente en cuanto a temperaturas ya que más o menos este está atemperado por la influencia que la presencia del mar tiene en la amortiguación de los regímenes climáticos.

PRECIPITACIONES

La precipitación media de San Fernando es de **575 mm**. El número de días de lluvia es de 85 al año distribuyéndose a lo largo de los meses según se muestra en la siguiente figura.

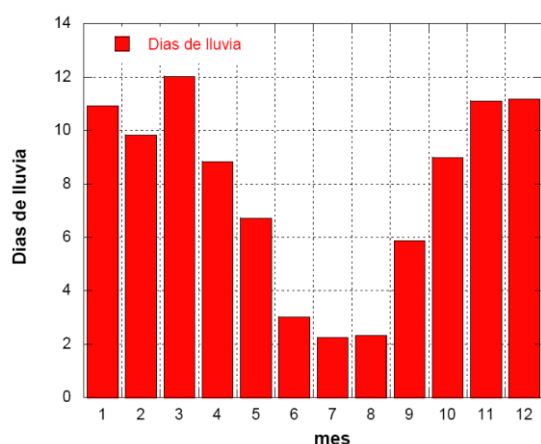


Fig.3.19: Días de lluvia por meses San Fernando (Cádiz)

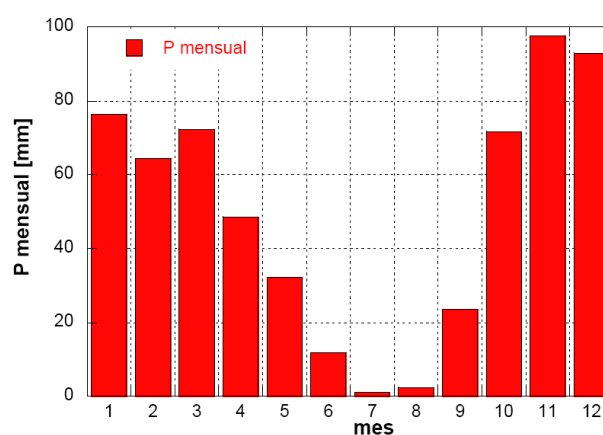


Fig.3.20 : Precipitación mensual total San Fernando (Cádiz)

La precipitación se concentra en los meses de invierno, con una media de 10 días de lluvia al mes y con una precipitación media de 80 mm en esos meses. Durante la época estival, apenas hay días de lluvia al mes con una precipitación de apenas 10,00 mm. Con lo que fenómenos de humedad y secado de paramentos de hormigón en breves periodos de tiempo están prácticamente descartados por motivo de lluvias en épocas de verano, siendo estos fenómenos por tanto achacables al viento que trae partículas de agua que humedecen esos paramentos y que posteriormente son secados por la propia acción del viento según la dirección que tenga este (poniente/levante).

Se observa una precipitación media mensual de 48 mm, el repunte máximo es de 95 mm en noviembre.

La distribución porcentual media anual del tipo de precipitación (lluvia, tormenta, granizo y nieve), arroja como resultados que salvo pequeños porcentajes de tormenta y granizo, toda la precipitación es lluvia, no existiendo ni nevadas ni heladas.

El número de nieblas es de 15. Los días despejados 117 y el número de horas de sol de 3.162 sobre 8.760 Lo que nos da idea de que hay bastantes días en las que la acción del sol produce el rápido secado de paramentos humedecidos provocando una serie de patologías de diversa índole.

VIENTO

El viento es el principal causante de los procesos de deterioro detectados en el edificio, por su propia acción mecánica erosiva al acarrear áridos y por servir de transporte a los aerosoles marinos. Para poder cuantificar y estudiar la acción del viento es importante conocer, cuales son las direcciones predominantes y las velocidades medias del viento. En este caso, no es tan importante conocer la velocidad de ráfaga, ya que los deterioros asociados al viento se han producido por la acción continuada del mismo a lo largo de muchos años, más que por la acción de las ráfagas puntuales.

En las figuras 3.21 se muestra la rosa de los vientos obtenida a partir de un registro de 60 años en la estación situada en San Fernando. Se representa la orientación del viento y la frecuencia del mismo en porcentaje con respecto al total cada uno de los meses. En la figura 3.22, se representa la orientación con respecto a las frecuencias medias anuales.

Del análisis de ambas figuras es posible concluir que el viento sopla con clara preponderancia en la dirección SW-NE, con rumbos 200° - 20° , siendo el más frecuente el que sopla en el sentido suroeste – noreste.

En los meses de otoño, septiembre, octubre y noviembre, el viento tiene una tendencia clara de suroeste – noreste con un rumbo de 200° , durante los meses de verano, julio y agosto la dirección predominante es noreste – suroeste con rumbo de 20° . Durante el resto de los meses del año el viento tiene una distribución más uniforme.

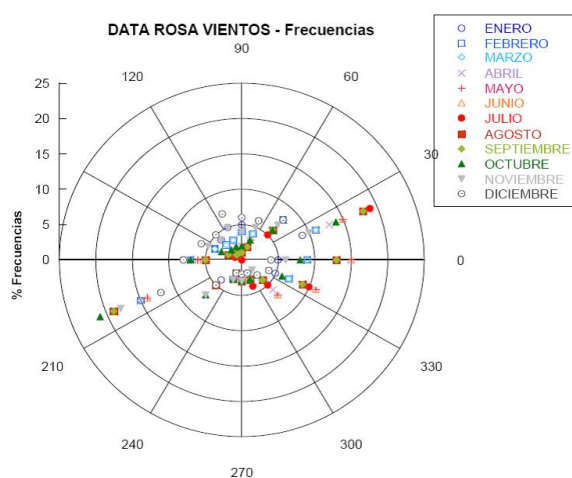


Fig. 3.21: Rosa de los vientos frecuencias mensuales. Cádiz

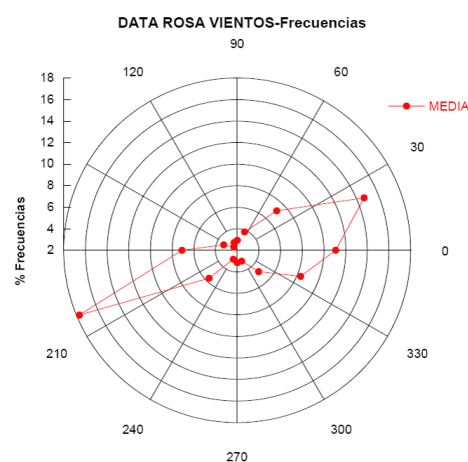


Fig. 3.22: Rosa de los vientos frecuencias medias. Cádiz

Otro dato a tener en cuenta es el de la velocidad media de los vientos. En la figura 33, se representa la rosa de los vientos, pero en esta ocasión, se representan las velocidades medias mensuales con respecto a la orientación.

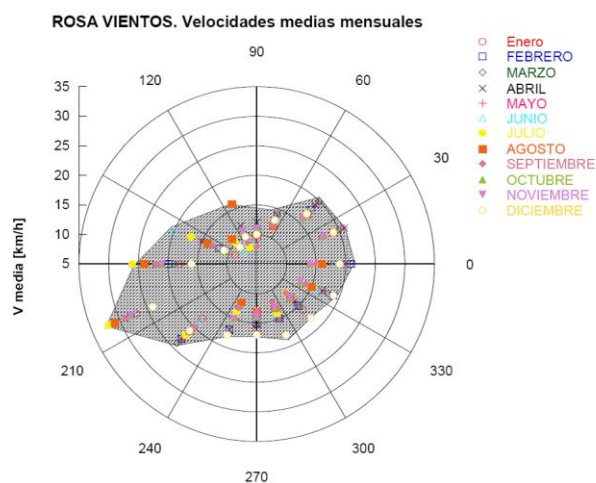


Fig. 3.23: Rosa de los vientos Velocidades medias. Cádiz.

En este caso, es posible identificar una velocidad media mayor en los vientos que proviene del suroeste de hasta 35 km/h. Los vientos en el resto de las direcciones tienen velocidades medias similares entorno a los 15 km/h. Este dato es importante, ya que aunque existe una mayor frecuencia de vientos de levante que de poniente, son los de poniente los que tienen velocidades mayores. Teniendo en cuenta la situación geográfica de nuestra edificación, los vientos de poniente son los que arrastran mayor cantidad de aerosoles marinos ya que provienen del mar con lo cual serán estos los que con mayor incidencia afectarán a nuestra edificación.

En la figura 34 se representa la Torre Vigía junto con el esquema principal de los vientos dominantes. Se ha representado a mayor escala las líneas de viento procedentes del rumbo 200° ya que sus velocidades medias son mayores.

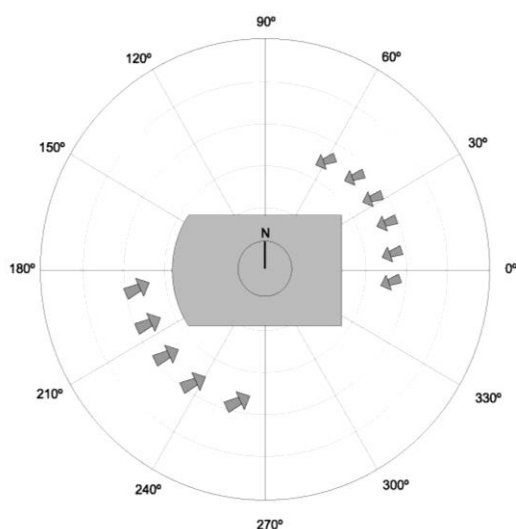


Fig.3.24: Esquema dirección de vientos sobre el edificio a estudiar. Elaboración propia

En las siguientes imágenes podemos apreciar la diferencia existente entre las zonas afectadas por el viento de levante y de poniente, poniéndose claramente de manifiesto la acción de ambos vientos en las patologías existentes en la edificación. Como podemos comprobar los efectos de los vientos de poniente procedentes del Suroeste provocan en la edificación patologías de mayor intensidad ya que con ellos viajan partículas que se adhieren a los paramentos y que potencian la aceleración de la corrosión (cloruros, sulfatos, humedad en forma de rocío marino etc...).



Fig 3.25. Fachada de Levante. Elaboración propia



Fig. 3.26. Fachada de poniente. Elaboración propia.

Una vez inspeccionado ambos laterales de la edificación comprobamos que los paramentos azotados por el viento de poniente rumbo 200º presentan un alto grado corrosivo unido a la abrasión que se ha originado en estos paramentos. Se aprecia que incluso tanto las barras longitudinales como los cercos que en esta zona han quedado al descubierto han perdido mucha sección.



Fig. 3.27. Estado armadura fachada levante Torre mirador. Elaboración propia



Fig. 3.28. Estado armadura fachada poniente. Elaboración propia

La acción que las distintas variables climáticas tienen en la generación de patologías que afectan a los materiales de la estructura bajo estudio dependen en gran medida de los límites que estos alcancen por lo que presentamos una tabla con los datos climáticos de la zona a estudio más significativos y que pueden tener más influencia a la hora de desarrollar y producir diferentes patologías.

**RESUMEN DE LOS DATOS CLIMÁTICOS DE LA ZONA DONDE SE UBICA EL CASTILLO DE SAN SEBASTIÁN**

Temperatura		
Media de las máximas absolutas mensuales	23,0°C	
Mínima media mensual	3,0°C	
Máxima media mensual	37°C	
Media anual	18°C	
Precipitaciones		
Precipitación total anual	575 mm	
Precipitación media mensual	47,90 mm	
Máxima precipitación media mensual	95 mm	
Mínima precipitación media mensual	5 mm	
Nº de días de lluvia al año	85	
Días despejados	117	
Días de niebla	80	
Viento		
Velocidades medias	35 Km/h rumbo 200º	
Direcciones predominantes	200º-20º	
Nº horas de sol anuales	3162	

Tabla 3.1: Resumen datos climáticos Cádiz

De los resultados anteriormente recopilados es posible concluir que la Torre se encuentra situado en una zona de precipitaciones medias y temperaturas agradables, caracterizadas por una temperatura media en torno a los 18.10º C. Nunca se dan temperaturas por debajo de los 0º C y, por consiguiente, no son esperables ni heladas ni nevadas.

Por otra parte, las lluvias no coinciden con periodos de insolación, es decir, las lluvias se dan, fundamentalmente, en invierno y no en primavera. Existe un gran número de días despejados y de horas de sol.

El viento, es quizás, la acción climática más agresiva y condicionante. Por una parte, sus velocidades medias son altas y, por otra, está fuertemente diseccionado, es decir, sopla casi siempre en una misma dirección. Suroeste-Noreste. Siendo más predominantes los vientos de levante pero teniendo mayor intensidad los de poniente.

En la siguiente tabla teniendo en cuenta los valores obtenidos para las variables climáticas analizadas establecemos un cuadro de vulnerabilidad o susceptibilidad de deterioro atendiendo sólo a las acciones climáticas y sin tener en cuenta los materiales sobre las que actúan.

PROCESOS DE DETERIORO	FACTORES	CONCLUSIÓN
AGUA	Precipitación media	Daños por escorrentía
ATAQUE SALINO	No existe coincidencia de periodos de insolación asociados a precipitaciones por lo que no hay procesos de humectación- secado asociados al mismo.	Ataque por sales
	Viento acarrea aerosoles marinos	Humectación-secado a través de agua transportada por viento y la propia acción secadora del soleamiento y el propio viento.
	Acción de secado del viento	
TEMPERATURA	Gradiente térmico medio-bajo	No existen patologías asociadas
ATAQUE HIELO-DESHIELO	No existen días de helada	No existen patologías asociadas a ataques hielo-deshielo
ACCIÓN ABRASIVA	Presencia de fuertes vientos de poniente y levante que acarrea partículas en suspensión.	Problemas de abrasión en paramentos.

Tabla 3.2: Acciones debidas a condicionantes climáticos en Torre Vigilancia

3.1.1.4 CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES.

Se realiza un análisis de la estructura de la Torre mediante una serie de ensayos para averiguar las características del hormigón y el acero utilizado en la misma para poder verificar posteriormente la perdida de resistencia de la misma debido a las patologías existentes. Para ello se ejecutan una serie de ensayos para conocer las características de los materiales que conforman el edificio.

Ensayos para el análisis de acero: Se realizan tomas de muestras de armaduras de la estructura para realizar posteriormente ensayos de tracción según la norma UNE 36097.



Fig. 3.29. Toma de muestras de acero para análisis Castillo San Sebastián (Cádiz). Fotos cedidas por Geocisa.

Ensayos para el análisis de hormigón: Los análisis y ensayos para el estudio del hormigón han sido los siguientes:

a) Determinación de la velocidad de los impulsos ultrasónicos UNE-EN 12504-4:2004. Para determinar la calidad del hormigón utilizado en la estructura.

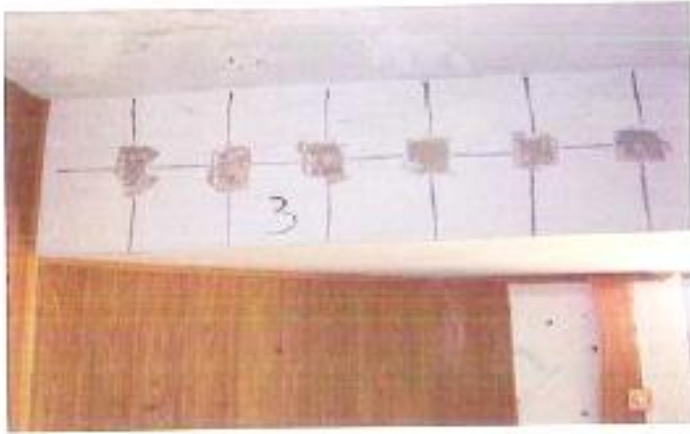


Fig. 3.30 Ensayos para velocidad ultrasonidos Castillo San Sebastián Cádiz. Fotos cedidas por Geocisa.

b) Ensayos de refrentado y resistencia a la compresión UNE 83304-86. Una vez realizada la inspección por ultrasonidos se han seleccionados los puntos de extracción de probetas testigo de forma que fueron representativas de la calidad del hormigón presente en la edificación.

Se han extraído 12 testigos de hormigón para su ensayo a compresión. Seis de las probetas se tomaron de elementos estructurales internos, vigas y pilares, así como una probeta del forjado. En todos los casos se han nombrado con las siglas HMI-HME y a continuación un número correlativo del 1 al 6.



Fig.3.31 Máquina extracción testigos H.A. Geocisa

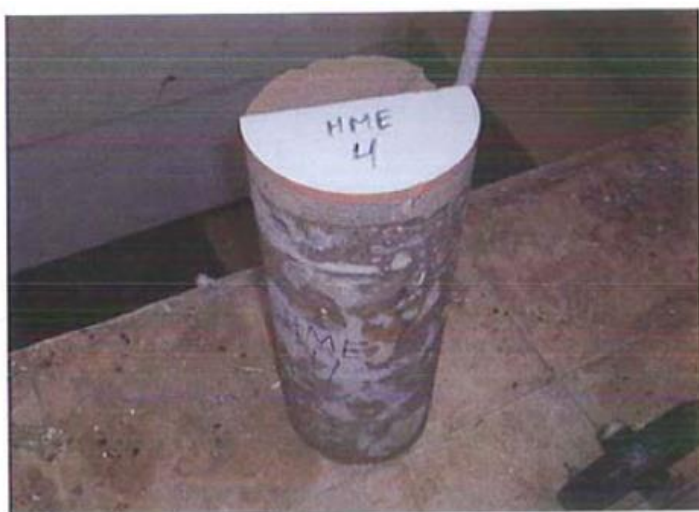


Fig.3.32: Testigo H.A. Torre mirador Castillo San Sebastián Cádiz. Geocisa.

c) *Ensayos de avance del frente carbonatado UNE EN 14630.* En cada uno de los 12 testigos extraídos se ha realizado la adición de fenolftaleína para estudiar la posición del frente carbonatado.

d) *Evaluación del contenido de cloruros UNE EN 112010.* En cada uno de los testigos se han realizado ensayos del contenido de cloruros en dos zonas de cada testigo:

- Una primera situada en la parte más exterior del testigo.
- Una segunda zona situada en la parte más interior.

De esta forma se puede analizar si el contenido de cloruros avanza progresivamente hacia el interior del elemento de hormigón armado o bien se encuentra por igual en ambas zonas. El muestreo realizado en forma de perfil, permite conocer cuál es la distribución del agresivo, determinando el nivel de exposición de los elementos, discerniendo si el agresivo está penetrando desde el exterior o si se encontraba presente en la propia masa de hormigonado, como contaminante de alguna de las materias primas (generalmente agua o arenas mal lavadas. Para el contenido en cloruros, el límite máximo prescrito por la EHE es de **0,4 %** en relación al peso de cemento. Si suponemos un hormigón de calidad media-baja (250-300 kilogramos de cemento por metro cúbico de hormigón), este límite se situaría entre **0,05 – 0,1 %** en relación al peso de hormigón, pudiendo por tanto tomar el 0,1 % como límite máximo admisible.



3.1.2 VILLA EL CASTILLITO. SANLÚCAR DE BARRAMEDA (CÁDIZ)

La edificación de la Villa “El Castillito” parece ser uno de los ejemplos de villas u hotelitos de playa que se realizaron junto a la zona de playa de Sanlúcar de Barrameda a finales del siglo XIX y principios del siglo XX, de los cuales aún se mantienen algunos ejemplos en la misma avenida Bajo de Guía donde se sitúa la edificación que nos ocupa. Se trata de una edificación desarrollada en planta sótano y planta baja, con una escalera que da acceso a estas dos plantas, a un Torreón en planta primera y un mirador en planta cubierta.

El acceso principal se realiza en planta baja a través de un gran portalón que se abre a la avenida Bajo de Guía y que da acceso a un espacio a modo de recibidor desde el cual se puede acceder a un salón a la derecha y otro a la izquierda, ambos de características similares, y a un salón central que es el espacio de mayor superficie de la planta. Tanto el salón central como los laterales tienen techos abovedados y son los espacios más nobles de la edificación.

Desde el salón de la izquierda parte un pasillo que lleva hasta la parte trasera de la edificación saliendo al exterior mediante un porche cubierto, el pasillo da acceso a varias salas y al espacio en planta baja del Torreón trasero, en la parte trasera de la edificación existe un patio desde el cual se puede acceder a la planta sótano a través de una escalera cubierta, El salón situado a la derecha de la entrada ocupa la planta baja del Torreón delantero de la edificación, a través de este espacio se llega a un pasillo que da acceso a dos habitaciones y también a la escalera principal de la edificación mediante la cual se comunican todas las plantas.

El sótano tiene la misma superficie que la planta baja, aunque algunos espacios no poseen acceso (como la zona bajo la entrada principal o el Torreón trasero). La distribución de esta planta es muy similar a la de la planta baja, con tres salones principales (situados bajo los salones de planta baja) siendo el central el de mayor superficie, sin embargo los techos no son abovedados sino planos. El resto de las estancias se distribuyen en las alas izquierda y derecha a través de sendos pasillos. Al final del pasillo del ala izquierda se llega a una escalera a través de la que se sale al patio trasero de la parcela.

El acceso a la planta primera se hace únicamente mediante la escalera principal, esta da a un pequeño distribuidor desde el cual se accede al salón de planta primera que ocupa el espacio del Torreón delantero, desde ese mismo distribuidor se accede a la planta de cubiertas del resto de los espacios de planta baja, y es por estas cubiertas por las que se tiene acceso al espacio de planta primera que ocupa el Torreón trasero. La escalera continúa un tramo más, dando acceso a la cubierta del Torreón delantero que sirve de mirador hacia la zona de playa, el río Guadalquivir y el coto de Doñana.

3.1.2.1 SITUACIÓN

La edificación se sitúa en la confluencia de las avenidas Bajo de Guía y Cabo Noval, cercano a la playa y con vistas al río Guadalquivir y al coto de Doñana. La parcela en la que se sitúa esta edificación es de forma rectangular, de 2546 m² según ficha catastral, y en la misma parcela se incluyen las edificaciones y espacios libres que forman parte del actual centro I.F.A.P.A. de Sanlúcar de Barrameda.

La parcela se encuentra actualmente dividida en dos partes por un vallado metálico, delimitando esta zona destinada a usos para el centro I.F.A.P.A. y la zona de la edificación que nos ocupa que se encuentra actualmente abandonada y sin uso.

El acceso principal a la edificación se realiza directamente desde la avenida Bajo de Guía, aunque existe otro acceso al interior de la parcela por la plazoleta trasera anexa a la avenida Cabo Noval, esta entrada secundaria da acceso a un pequeño jardín, actualmente en abandono, desde el cual se puede acceder tanto a la planta baja de la edificación como a la planta sótano.

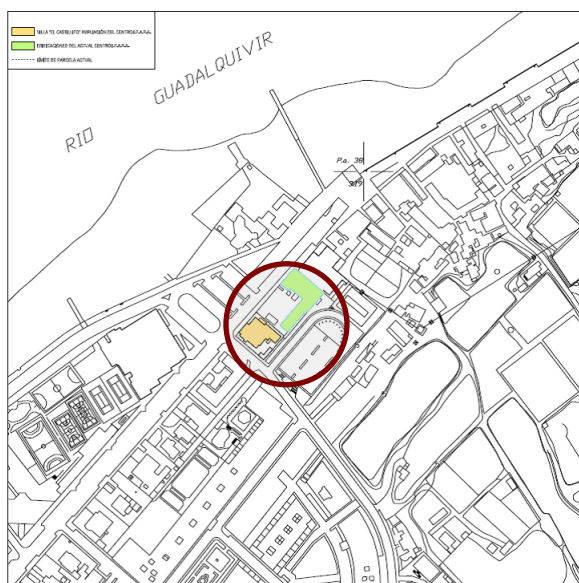


Fig. 3.33. Esquema de situación de la Villa El Castillito. Sanlúcar de Barrameda. Elaboración propia

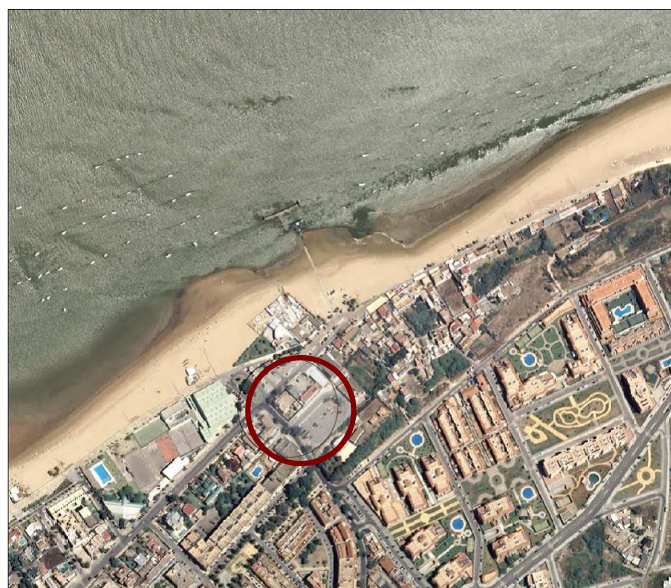


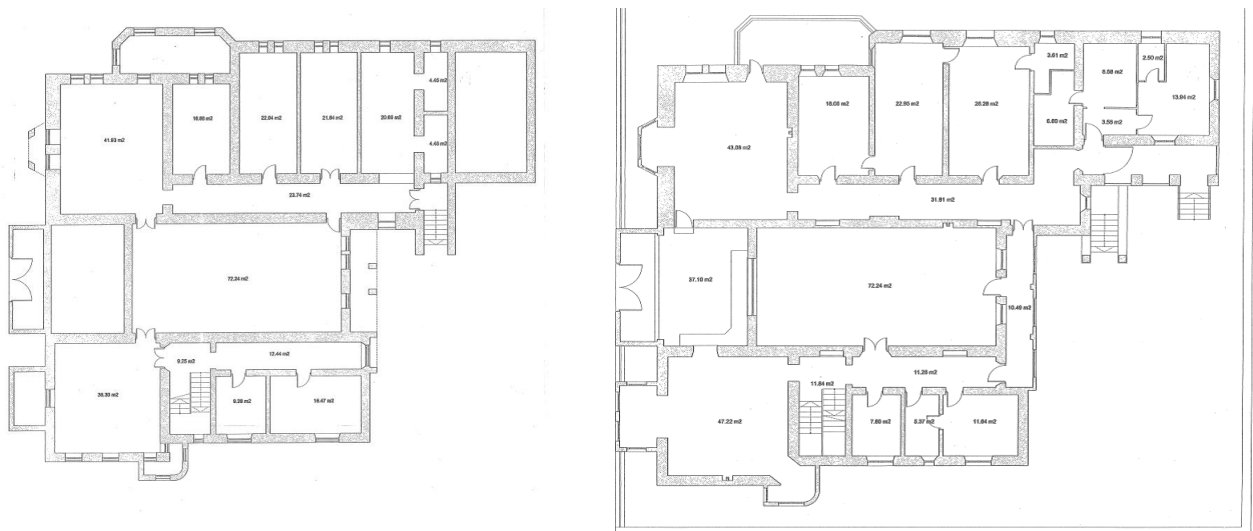
Fig. 3.34: Fotografía aérea ubicación Castillito

3.1.2.2 CARACTERIZACIÓN DE LA EDIFICACIÓN.

La estructura vertical es de muros de carga de sillería labrada en pilastra, esquinas, dinteles, arcos en capialzados, jambas de ventanas, de mampostería concertada en muros delanteros, de fábrica de ladrillo en los cercos de los huecos, y de fábrica mixta sin concertar e hilada de ladrillo.



Fig. 3.35: Alzado frontal Villa el Castillito. Planos cedidos por Tragsatec



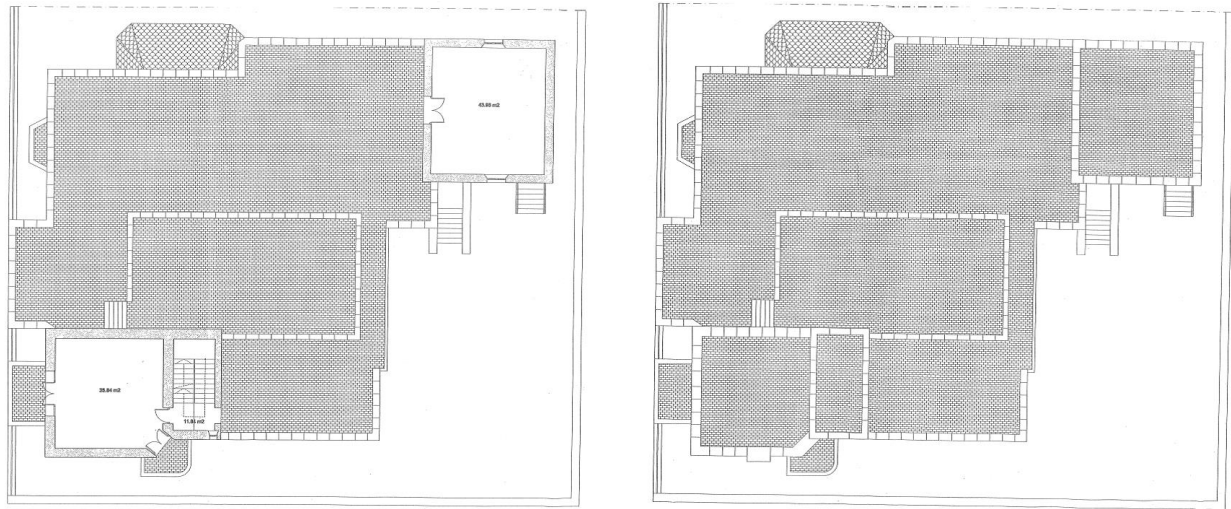


Fig. 3.36: Plantas Villa el Castillito. Planos cedidos por Tragsatec.

La estructura horizontal está realizada en hormigón armado en forma de losas planas, vigas e incluso las bóvedas de los salones laterales y del salón central. La edificación se encuentra en estado de abandono desde hace años y ha sufrido importantes deterioros tanto en la estructura como en los elementos de carpintería, acabados, etc.



Fig. 3.37: Fachada frontal Villa el Castillito. Elaboración propia



Fig. 3.38. Fachada posterior Villa el Castillito



Fig. 3.39: Fotografía de Conjunto Villa el Castillito. Elaboración propia

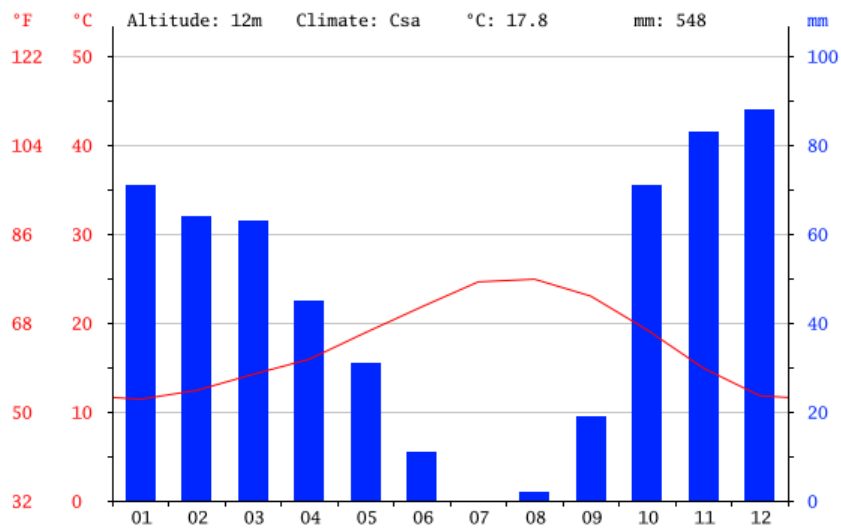
A finales de 2007 se realizó un proyecto y obras para mejorar la imagen exterior del edificio, así como la demolición de varios elementos en situación precaria, el arreglo de la cubierta para evitar filtraciones de agua y la protección de algunos elementos de valor en el interior de la edificación.

El estado actual de la edificación es bastante malo, encontrándose la mayoría de los forjados en mal estado y en algunas zonas se encuentran apuntalados, posiblemente colapsados, con riesgo de desprendimiento de material y caída de elementos.

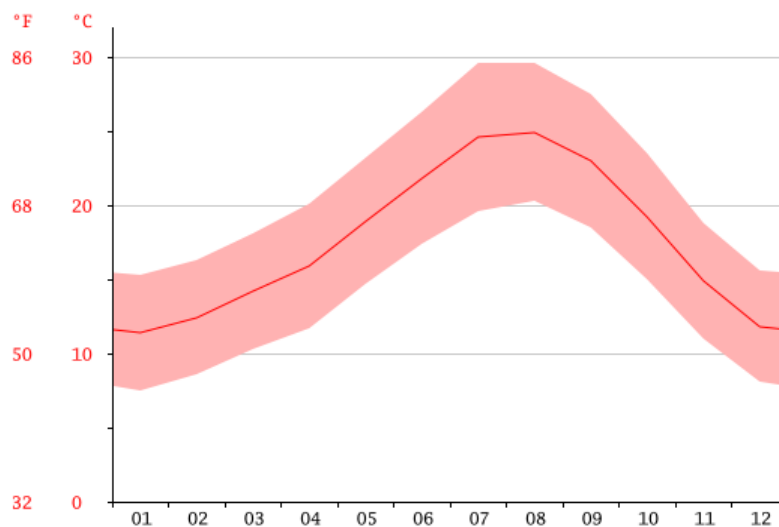
3.1.2.3 CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS DEL ENTORNO

Sanlúcar tiene un clima de tipo mediterráneo oceánico. Presenta un escaso índice de precipitaciones y las temperaturas más suaves de la provincia. La insolación alcanza un promedio anual de 3000 a 3200 horas, siendo uno de los municipios más soleados de Europa. El verano es seco y algo más húmedo en la franja litoral por la influencia atlántica. Por lo tanto el clima es templado y cálido. En invierno hay en Sanlúcar de Barrameda mucho más lluvia que en verano.

La clasificación del clima de Köppen-Geiger es **Csa** (Clima mediterráneo), lo que se traduce en inviernos templados y lluviosos y veranos secos y calurosos con otoños y primaveras variables tanto en temperaturas como en precipitaciones. La temperatura media anual se encuentra a 17.8 °C. La precipitación es de 548 mm al año.

PRECIPITACIONESFig. 3.40: Climograma de Sanlúcar de Barrameda. Datos obtenidos en < <http://es.climate-data.org/location/57184/>>

El mes más seco es julio, con 0 mm. Mientras que la caída media en diciembre es de 88 mm.

TEMPERATURAFig. 3.41: Diagrama de Temperatura Sanlúcar de Barrameda. Datos obtenidos en < <http://es.climate-data.org/location/57184/>>



El mes más caluroso del año con un promedio de 24.9 °C de agosto. El mes más frío del año es de 11.4 °C en el medio de enero.

month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
mm	71	64	63	45	31	11	0	2	19	71	83	88
°C	11.4	12.4	14.2	15.9	18.9	21.8	24.6	24.9	23.0	19.2	14.9	11.8
°C (min)	7.5	8.6	10.3	11.7	14.7	17.4	19.6	20.3	18.5	15.0	11.0	8.1
°C (max)	15.3	16.3	18.1	20.1	23.2	26.3	29.6	29.6	27.5	23.5	18.8	15.6
°F	52.5	54.3	57.6	60.6	66.0	71.2	76.3	76.8	73.4	66.6	58.8	53.2
°F (min)	45.5	47.5	50.5	53.1	58.5	63.3	67.3	68.5	65.3	59.0	51.8	46.6
°F (max)	59.5	61.3	64.6	68.2	73.8	79.3	85.3	85.3	81.5	74.3	65.8	60.1

Fig. 3.42: Tabla Climática Sanlúcar de Barrameda. Datos obtenidos en < <http://es.climate-data.org/location/57184/>>

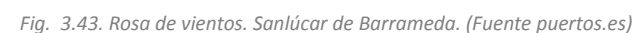
La diferencia en la precipitación entre el mes más seco y el mes más lluvioso es de 88 mm.

Las temperaturas medias varían durante el año en un 13.5 °C.

VIENTO

Tanto la frecuencia como la intensidad están del lado de los Ponientes (notar criterio de dirección en pie de figura), que representan el 70% de las observaciones. Los Ponientes tienen cierta orientación hacia el Sureste para seguir la línea de costa en tanto que los Levantes parecen fuertemente afectados por el cauce del río que los vira en clara dirección hacia el Suroeste. Son las direcciones predominantes.

En la siguiente Rosa de los vientos para un punto situado en la desembocadura del Guadalquivir, en Sanlúcar de Barrameda, podemos apreciar la influencia del levante y el poniente, en general.



El edificio que nos ocupa data de principios del siglo XX, no existiendo planimetría del proyecto ni de la ejecución, por lo que la identificación del sistema estructural se ha realizado mediante la observación visual de los elementos y la realización de catas, así como la realización de un “Informe de identificación y control del sistema estructural”.

CIMENTACIÓN.

ESTRUCTURA PORTANTE.

La estructura portante es a base de muros de carga, identificados en el informe como muros de mampostería a base de ladrillo, biocalcarenita y arenisca. El espesor de estos muros es muy variable, desde los 30 cm hasta más de 60 en algunas fachadas.



El estado de los mismos es bastante bueno aunque presentan en algunas zonas pérdidas de revestimiento exterior y mortero.

ESTRUCTURA HORIZONTAL.

La estructura horizontal está compuesta por forjados horizontales de hormigón armado en forma de losas, así como de bóvedas en los salones principales, que sustentan parte de la cubierta.

Estos elementos de hormigón armado son los que presentan peor estado en la edificación, debido a la corrosión de las armaduras que ha provocado la rotura de la capa de hormigón inferior y la pérdida de sección de armado en muchos puntos.

Sin embargo el comportamiento de los elementos horizontales ha sido muy distinto al de las bóvedas.

Estas últimas presentan muy buen estado general, y no presentan grietas ni defectos estructurales, al trabajar las mismas a compresión, la pérdida de sección en las armaduras no ha provocado ningún problema estructural ya que el hormigón mantiene sus características.

En los forjados horizontales la situación es muy distinta, ya que la pérdida de sección de armadura y de sección de hormigón ha provocado el colapso de algunos forjados encontrándose la mayor parte de los mismos apuntalados tanto los de planta baja, como los de planta primera y cubiertas. La actuación propuesta para los mismos es la sustitución ya que la ejecución de elementos de sacrificio impediría el uso de la planta de sótano por la pérdida de altura libre, y los trabajos de rehabilitación resultarían excesivamente costosos ya que el problema es generalizado en todos los forjados.

Los forjado existentes son a base de una losa de hormigón armado de 15 cm de espesor, con armadura únicamente en la cara inferior a base de un emparrillado de acero de 6 mm de diámetro, con vigas de apoyo intermedias de sección 20 x 20 cm, y apoyados directamente sobre los muros de carga.

Todos los forjados son idénticos, salvando luces de hasta 6,5 metros en las zonas más desfavorables, a excepción del forjado de planta primera del Torreón trasero que es de posterior ejecución y es unidireccional de viguetas de hormigón armado y bovedillas de hormigón aligerado.

3.1.3 CANAL DE CALZAS ANCHAS (UTRERA).

El arroyo Calzas Anchas es un arroyo perteneciente a la cuenca hidrográfica del Guadalquivir. Este arroyo atraviesa soterrado toda la ciudad de Utrera de Este a Oeste, pasando justo por el centro. Esto ha sido causa de varias inundaciones a lo largo de los años. Una de las más graves ocurrió en el año 1962 tras una importante crecida de las aguas, las cuales anegaron parte del casco histórico provocando grandes daños. Hay que tener en cuenta que el Arroyo Calzas Anchas atraviesa la ciudad de a través de su red de colectores. Las cubriciones que se han desarrollado en diferentes fases y con diferentes tipologías sobre este no habían sido respetadas en algunos de sus tramos, por lo que, incluso, se llegó a edificar sobre las mismas. Igualmente, había sufrido modificaciones en la tipología de su sección y, conforme fueron apareciendo problemas, debidos principalmente a su deterioro, se fueron solucionando con otras secciones y diferentes dimensiones.

El resultado de estos cambios de dimensión hizo insuficiente el desagüe de nuevos caudales e avenida, mayores por el intenso proceso urbanizador del núcleo que incrementa la escorrentía, y los caudales procedentes de algunos colectores que, de forma irregular, vierten al encauzamiento.

Con ello, nos encontramos con un sistema de colectores muy antiguo, a lo que se une que el sistema funcionaba como el encauzamiento del arroyo Calzas Anchas, con una sección que, en los periodos de avenidas, era totalmente insuficiente.



su paso por uno de los puntos bajo la ciudad. Poco después de este suceso, fue adjudicado el desvío del arroyo para evitar que se volviesen a repetir las inundaciones. Las obras se iniciaron 12 de agosto de 2009 y concluyen en Diciembre de 2011.



The screenshot shows the header of the 'Diario de Sevilla' website with the 'PROVINCIA' section selected. The article title is 'Inaugurado el desvío de Calzas Anchas para evitar inundaciones en Utrera'. The sub-headline states: 'Con una inversión de 12 millones, el canal de 3,7 kilómetros pretende evitar inundaciones en el centro urbano de la localidad.' The byline reads: 'EUROPA PRESS, UTRERA | ACTUALIZADO 09.06.2012 - 17:09'. Below the article text, there are social media sharing buttons for 'Me gusta' (0), 'Twitter' (0), and 'COMPARTIR'. The article text begins: 'El ministro de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Miguel Arias Cañete, ha presidido la inauguración del desvío del arroyo de Calzas Anchas en el municipio sevillano de Utrera que, con una inversión de 12 millones, ha supuesto la construcción de un canal de 3,7 kilómetros para transportar 183 metros cúbicos de agua con el objetivo de evitar nuevos desbordamientos en el centro urbano de la localidad.'

Fig. 3.45. Inauguración Canal Calzas Anchas (Utrera). (Diario de Sevilla 09/06/2012)

Por otra parte hay que indicar que algunas granjas e industrias de la zona han venido arrojando numerosos vertidos contaminantes al cauce del arroyo, principalmente alpechín. La mayoría de los vertidos se producen o se han producido en la parte del cauce que discurre justo antes del comienzo del soterramiento por el casco urbano, a la altura del puente de la carretera A-394, al Este de Utrera. Estos vertidos a menudo provocaban un hedor que inundaba un área de varios cientos de metros a la redonda.

3.1.3.1 SITUACIÓN

La actuación ha consistido en la construcción de un canal hacia el que se deriva el caudal del Arroyo Calzas Anchas con el objetivo de evitar los desbordamientos en el antiguo cauce que atraviesa el término municipal de Utrera. El encauzamiento parte desde la zona de la Cañada Real del Pajarero, cruza por el extremo sur de la zona urbanizable del municipio y termina en la salida del actual soterramiento del Arroyo Calzas Anchas.

3.1.3.2 CARACTERIZACIÓN DE LA ACTUACIÓN.

El nuevo canal de desvío tiene una longitud de 3.688 metros, con capacidad para transportar un caudal máximo de 137,86 m³/s. Consiste en una estructura de hormigón armado en forma de U, con una anchura de entre 6 y 7 metros y una altura de entre 3,3 y 4,5 metros. Además, consta de 8 obras de paso para los cruces con las infraestructuras viarias existentes, así como una obra de paso para el cruce con la línea férrea Sevilla - Cádiz y su futura ampliación. Junto al canal se ha construido un nuevo camino de servicio y un paseo peatonal. De forma simultánea, se han realizado labores de saneamiento en el Arroyo Hondo con el objetivo de encauzar las aguas fecales que recibía hasta la red de saneamiento y evacuar aguas pluviales hasta el nuevo canal.



Fig. 3.46. Desvío Arroyo Calzas Anchas utrera. (<https://www.chguadalquivir.es>)



Fig. 3.47. Canal Calzas Anchas (Utrera). (www.abc.es).

3.1.3.3 CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS DEL ENTORNO.

El clima de Utrera se caracteriza por la alternancia anual de un período seco de más de cuatro meses con altas temperaturas y otro (Otoño-Invierno) húmedo de temperaturas suaves. El tipo climático corresponde al “Mediterráneo subtropical” o bien “Seco subhúmedo **MESOTÉRMICO**”.

La distribución mensual de las lluvias responde a las pautas mediterráneas, con máximas en Otoño-Invierno y mínimas muy acusadas en los meses estivales. El 41% de las lluvias se producen en Otoño. La temperatura media anual es de 17,5°C. La media de las máximas absolutas anuales es 41,9°C., destacando Julio, en cuanto a las mensuales con 41,2°C. El mes frío es Enero, siendo la media de sus mínimas absolutas 0,8°C. Hay una dominación de los vientos de dirección NE en los meses de Enero-Febrero, haciéndose en los siguientes más patentes los del SW, hasta hacerse predominante entre los meses de Mayo y Agosto, volviendo entonces a aumentar los del NE.

3.1.3.4 CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES.

Se proyecta un nuevo canal con secciones en U mediante Muros de contención y Losa de hormigón. Los muros de contención que han sufrido el colapso pertenecen a la sección tipo 5 (ver anexo proyecto adjunto), estos son de hormigón armado de 30 cm de espesor, con una armadura en el trasdós de \varnothing 16 a 20 cm y en el intradós de \varnothing 12 a 20 cm. La losa de cimentación es de 30 cm con una armadura longitudinal de \varnothing 12 a 20 cm (superior e inferior) y transversal de \varnothing 16 a 20 cm (superior e inferior), según se aprecia en el siguiente gráfico.

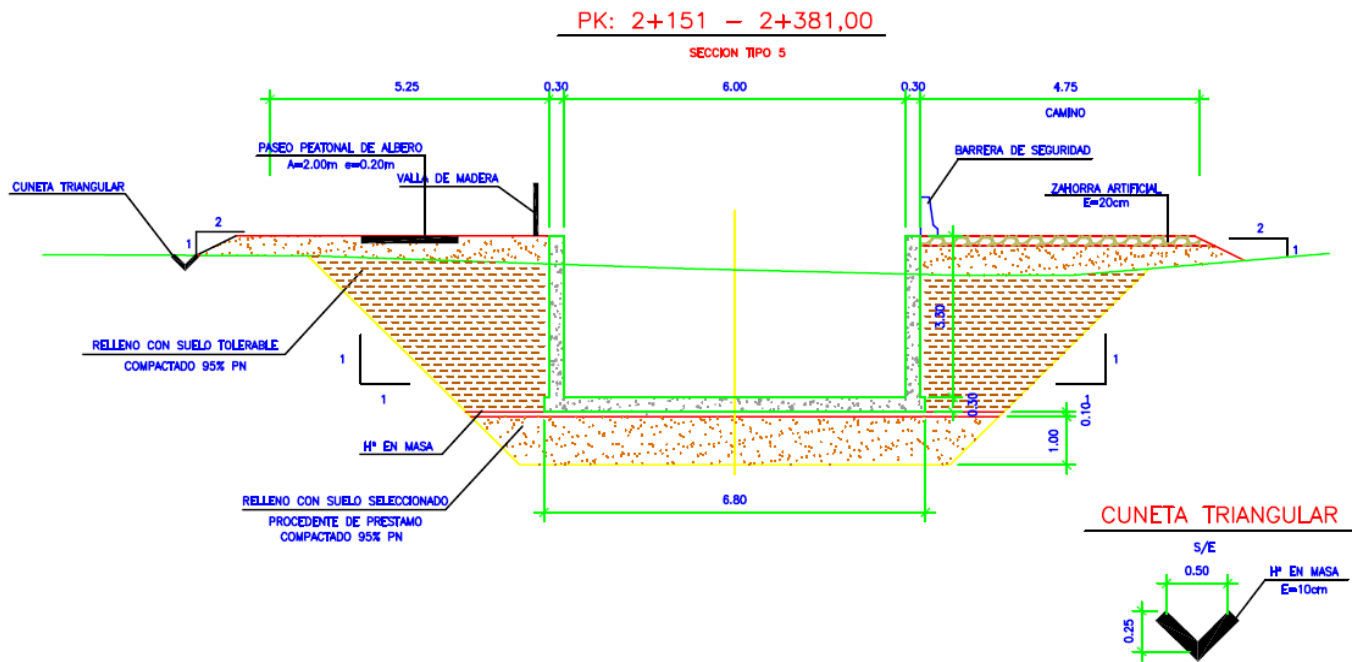


Fig. 3.48: Caracterización geométrica sección tipo 5 (Proyecto de refuerzo estructural del canal de desvío del arroyo Calzas Anchas. t.m. de Utrera (SEVILLA)).

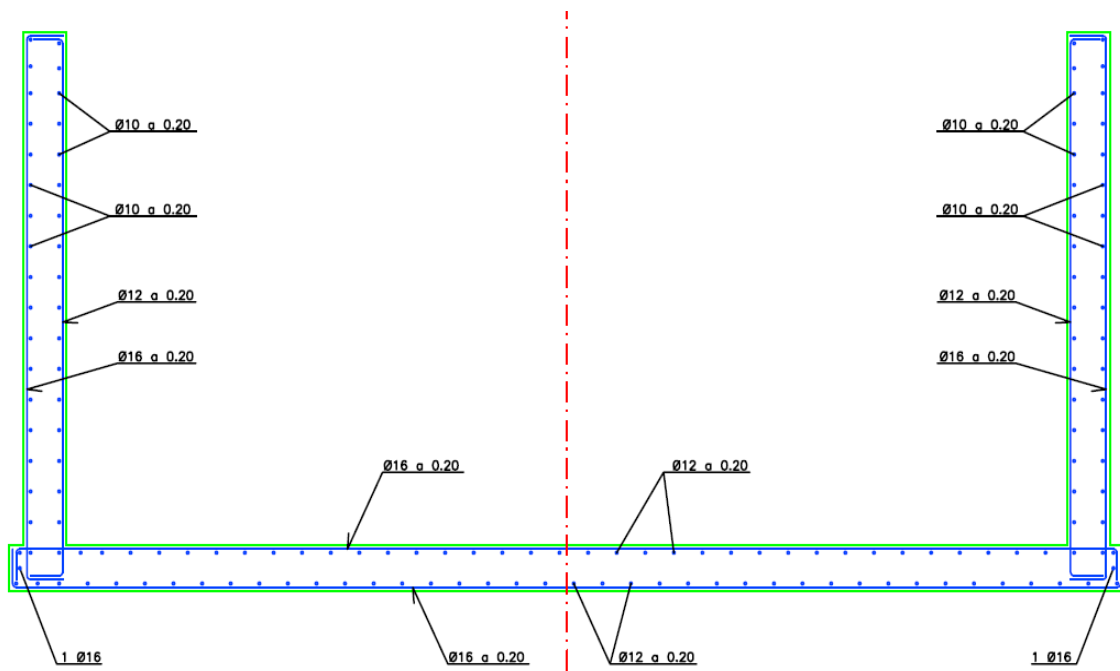


Fig. 3.49: Detalle armadura sección tipo 5 ((Proyecto de refuerzo estructural del canal de desvío del arroyo Calzas Anchas. t.m. de Utrera (SEVILLA)).



Fig. 3.49b: Apuntalamiento provisional en tramos aguas abajo y aguas arriba de la zona afectada por el desplome. Canal de desvío del arroyo Calzas Anchas. t.m. de Utrera (SEVILLA).



Fig. 3.49c: Detalle corrosión armadura descubierta. Canal de desvío del arroyo Calzas Anchas. t.m. de Utrera (SEVILLA).



Fig. 3.49d: Detalle corrosión armadura descubierta. Canal de desvío del arroyo Calzas Anchas. t.m. de Utrera (SEVILLA)

3.2 ANÁLISIS TEÓRICO DE RESULTADOS

Inicialmente, vamos a analizar los datos técnicos que los diferentes autores proporcionan en cuanto a :tensión de rotura, avance del frente de carbonatación y difusión del ion cloruro y sulfato con los que obtendremos un patrón, para poder confrontarlos con los resultados reales, que hemos obtenido en los análisis realizados a los diferentes testigos extraídos de los elementos a estudio.

En la actual EHE-08, no sólo se indican las proporciones de la mezcla de hormigón que son adecuadas para resistir en cada tipo de ambiente, sino que además se contempla un Anejo 9, que abre la puerta al uso de modelos para la predicción de la durabilidad del hormigo en relación a la corrosión de la armadura. Estos modelos son todavía muy poco precisos ya que no están calibrados a largo plazo

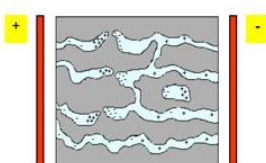
Hacemos un análisis teórico de los dos parámetros que pueden afectar, en mayor medida, en los procesos corrosivos que se originan en las estructuras de hormigón. En este caso serían la Carbonatación del hormigón que recubre las armaduras y la acción por difusión de los iones Cloruros en la estructura.

CARBONATACIÓN.

El proceso de Carbonatación de hormigón induce a la neutralización de la matriz de cemento como consecuencia de la interacción de la misma con el CO₂ por lo que puede considerarse este ataque como inevitable ya que la presencia de este gas en la atmosfera es constante.

Se han realizado multitud de estudios de predicción de la vida útil del hormigón, así como de la evolución del frente de carbonatación, pero a pesar de ello actualmente hay mucha controversia puesto que no se han concreateo un modelo totalmente valido a largo plazo de predicción. Para su resolución hay dos problemas fundamentales: por un lado, se asume que la carbonatación es principalmente un fenómeno de difusión, donde el frente carbonatado se mueve hacia el interior del hormigón en una relación proporcional a la raíz cuadrada del tiempo (Rahman y Glasser, 1989; Venuat y Alexandre, 1968; Weber, 1983; Smolczyck, 1968).

Además se puede encontrar literatura sobre infinidad de modelos de vida útil, siendo los más empleados, los citados en (Tuuti, 1982; Bakker, 1964; Parrot, 1994). Algunos emplean el coeficiente de difusión como un parámetro de transporte básico (Tuuti, 1982; Bakker, 1964), mientras otros usan el coeficiente de permeabilidad del aire (Parrot 1994). En los últimos años se ha implementado un modelo basado en el uso de la resistividad (*Andrade et al., 2000*) [27]. Este parámetro de resistividad es una propiedad volumétrica del material e indica su resistencia al paso de las cargas eléctricas (se obtiene mediante un ensayo no destructivo)

$$R = \frac{V}{I} = \rho \frac{l}{A} \quad (1)$$


The diagram shows a rectangular concrete specimen. On the left and right vertical faces, there are red vertical lines representing electrodes, with a yellow '+' sign on the left and a yellow '-' sign on the right. A cross-section of the specimen is shown in the center, with a wavy line representing the carbonation front moving from the surface towards the center.



El parámetro de resistividad en el hormigón valora los siguientes aspectos.

- El endurecimiento en estado fresco
- El grado de curado
- La resistencia a la penetración de los cloruros y la carbonatación
- La velocidad de corrosión de la armadura

La resistividad puede utilizarse en una expresión matemática para la predicción, tanto del periodo de inicio de la corrosión de la armadura, como para cuantificar el periodo de propagación de la corrosión. Esta posibilidad se basa en la relación inversa entre la resistividad eléctrica y la difusividad de los iones, de tal manera que a mayor resistividad del elemento, se produce un movimiento menor de las cargas eléctricas (los iones de los poros del hormigón) debido a que un mayor índice de resistividad es un indicador de menor porosidad del hormigón. [81]

Por otra parte, no existe un método generalmente aceptado de predicción, debido a que la carbonatación natural es un proceso que se desarrolla a lo largo del tiempo. De este modo, la carbonatación acelerada empleando mayores concentraciones de CO_2 es una práctica común en la mayoría de los laboratorios, por lo que existen muchas dudas sobre la validez de las pruebas de carbonatación acelerada. Ya que los datos obtenidos en las mismas no son fácilmente extrapolables a las condiciones naturales de ataque por carbonatación. Lo anterior es debido principalmente a que la micro-estructura existente de las pastas carbonatadas que emplean CO_2 puro, es diferente de aquellas pastas aerocarbonatadas (Suzuki et al., 1989; Groves et al., 1991; Bier et al., 1989; Sergi, 1986; Verbeck, 1958; Sanjuan et al., 2003; Catellote et al., 2008), incluso las cantidades resultantes de material carbonatado aumenta cuando se incrementa la concentración de CO_2 (Castellote et al.) [80]

Para hacer un análisis teórico sobre los efectos de la carbonatación en estas estructuras utilizaremos formulaciones de Fernández Paris de Hamada (1968) obtenidas de la obra de Adolfo Delibes Liniers "*Tecnología y propiedades mecánicas del hormigón*". En donde se deduce la velocidad de carbonatación a partir de la siguiente expresión:

$$x = K_c \sqrt{t}$$

Donde x es la profundidad de carbonatación en cm y t la edad del hormigón en años

Esta es la expresión general utilizada para conocer la velocidad en los procesos de difusión, en este caso aplicado al CO_2 en la que el avance del frente carbonatado se expresa en función de la raíz cuadrada del tiempo y una constante K_c

El parámetro K_c que es la constante de carbonatación lo tomaremos según la siguiente expresión

$K_c = R \sqrt{\alpha}$, donde α dependerá de ω =relación agua/cemento

$R = r_1 * r_2 * r_3$, según los componentes del hormigón para ello consideramos acertados los datos obtenidos por Fernández Paris de Hamada (1968), según la siguiente tabla.



CEMENTO	Portland Normal	Alta resistencia	Escorias al 40%	Escorias al 60%	Puzolánico
r₁	1,0	0,6	1,4	2,2	1,8
ARIDO	Rodado de Rio	Arena natural, Grava Ligera	Áridos Ligeros	Cenizas	
r₂	1,0	1,2	2,9	3,3	
ADITIVOS	Normal	Aireantes	Fluidificantes		
r₃	1,0	0,6	0,4		

Tabla 3.3 Tabla para obtener el valor R. Elaboración propia

**CASO I: TORRE DE VIGILANCIA CASTILLO SAN SEBASTIAN.**

Establecemos los datos teóricos de las distintas fases en las que se realizó el edificio, ya que se construyeron en diferentes épocas y por tanto presentan diferentes hormigones.

Fase 1: (1943). Teniendo en cuenta que se trata de un hormigón de calidad muy baja $\leq 200 \text{ Kg/m}^3$ de hormigón, se realiza una estimación de la profundidad de carbonatación que se podía haber alcanzado según la edad y diversas características como son la relación agua/cemento (estimamos una relación 0,70), estimamos que el tipo de cemento utilizado posee un contenido en escorias del 40%, el tipo de árido utilizado sería arena natural y grava ligera. Con estos datos, obtenemos una profundidad de carbonatación de **6,314cm**, por lo tanto observamos cómo se ha traspasado el espesor de recubrimiento 2 cm teóricamente desde hace 62 años, de esta manera, el frente carbonatado ha iniciado el proceso de despasivación de la armadura a los 6 años de su ejecución.

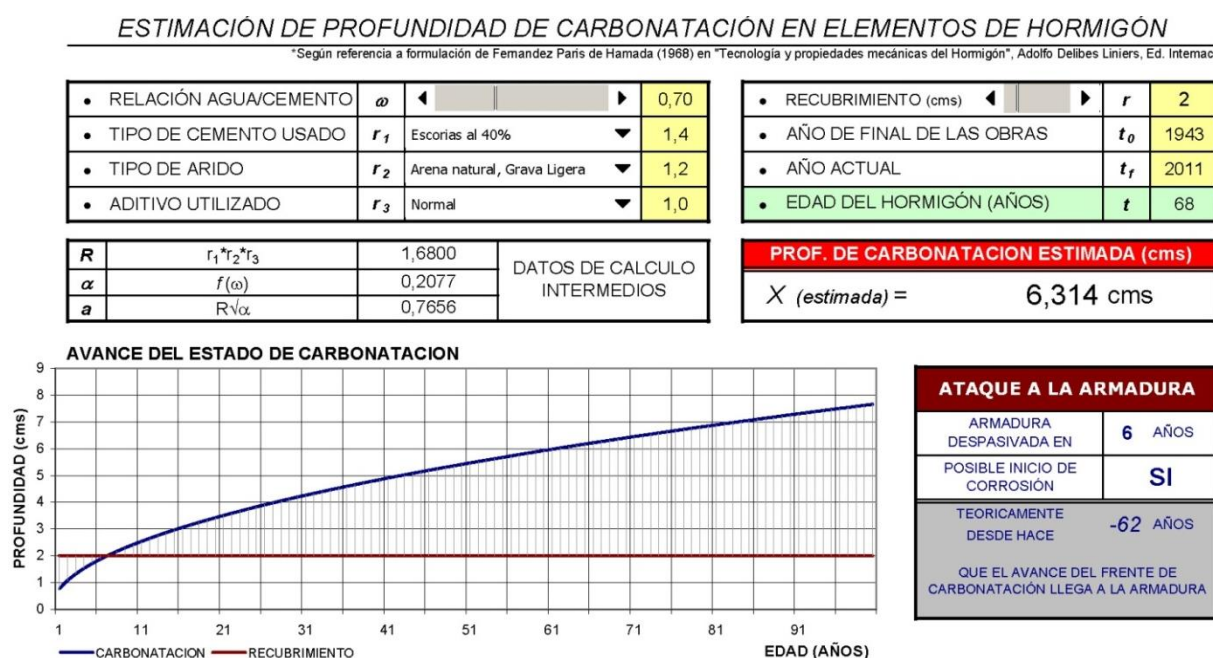


Fig. 3.50: Avance frente carbonatación Caso I: fase 1. Elaboración propia

Consideramos que establecer el avance de carbonatación en función de la raíz cuadrada del tiempo no se ajusta del todo en zonas con humedades altas ya que como indican diversos autores [67] en zonas con humedades relativamente altas el avance del frente de carbonatación es más lento del indicado por la expresión anterior.

De acuerdo con lo indicado por el autor Pedro Castro Borges "Corrosión en estructuras de hormigón armado" y tomando los datos teóricos de profundidad de carbonatación, tenemos una Constante de Carbonatación de **$K_c=7,5 \text{ mm/año}^{0.5}$** lo que equivaldría teóricamente a encontrarnos con hormigones de compacidad media.

Una vez tengamos los resultados reales del frente de carbonatación en las probetas extraídas podremos confrontar estos resultados y sacar una serie de conclusiones al respecto.



Fase 2: (1960). Teniendo en cuenta que se trata de un hormigón de calidad baja $< 250 \text{ Kg/m}^3$, pasamos a utilizar los siguientes datos para el análisis teórico de este hormigón. Teniendo en cuenta una proporción de agua cemento más acorde (0,6) y siendo este al mismo tiempo de mayor riqueza. El tipo de cemento utilizado es en este caso un Portland con mejores características que el anterior. Por lo tanto podemos observar como la profundidad de carbonatación es menor que en la fase anterior, siendo esta de **2,805 cm**, que supera el espesor del recubrimiento establecido en 2 cm, de esta manera se puede prever que el proceso de corrosión se inició tras la despasivación de la armadura hace unos 25 años aproximadamente. En este caso la Constante de carbonatación será **$K_c = 3,9 \text{ mm/año}^{0.5}$** prácticamente la mitad del valor que tendía en la fase I

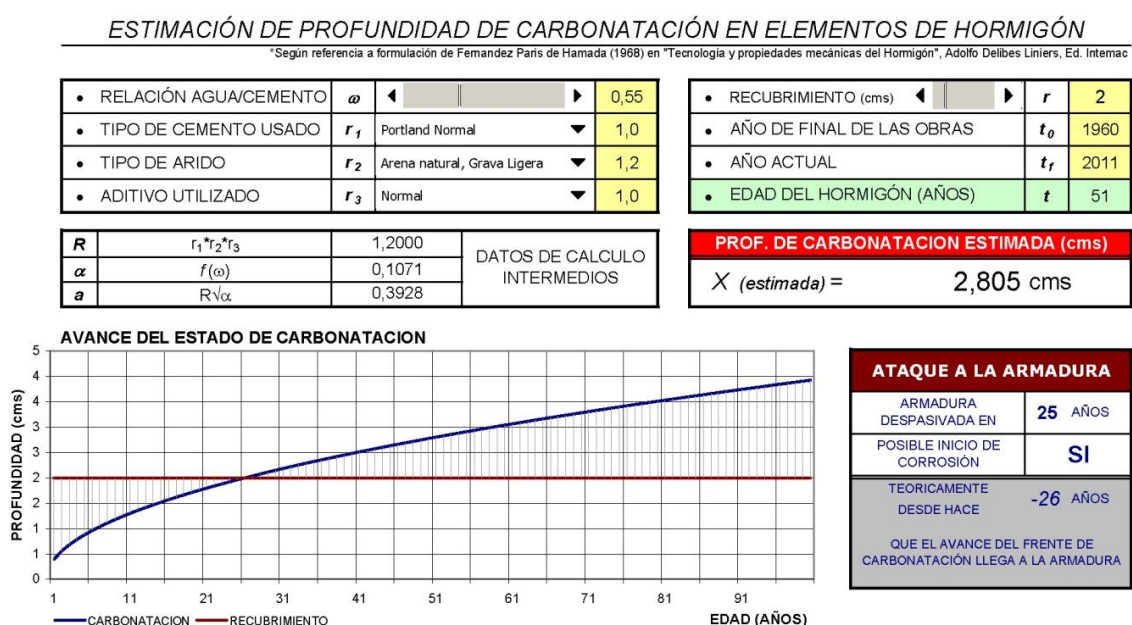


Fig. 3.51: Avance frente carbonatación Caso I: fase 2. Elaboración propia

**CASO II: VILLA EL CASTILLITO.**

La fecha de construcción de la Villa el Castillito es de finales del Siglo XIX y principios del Siglo XX, entendemos que en esta época el hormigón utilizado sería de baja calidad $< 250 \text{ Kg/m}^3$, se realiza una estimación de la profundidad de carbonatación que se podría haber alcanzado según la edad y diversas características como son la relación agua cemento (estimamos una relación 0,60), el tipo de cemento utilizado estimamos que se trata de un Cemento Portland normal, el tipo de árido utilizado serían canto rodado de río. Con estos datos obtenemos una profundidad de carbonatación de **3,549 cm**, por lo tanto observamos cómo se ha traspasado el espesor de recubrimiento 1 cm existente en el interior del forjado formado por una losa de hormigón de 15 cm con un empujamiento de $\varnothing 6 \text{ mm}$ mediante una retícula de 20 cm situada a 1 cm de la cara inferior del forjado. Teóricamente desde hace 84 años debería estar despasivada dicha armadura por lo tanto el frente carbonatado ha iniciado el proceso de despasivación a los 7 años de su ejecución. En este caso la Constante de carbonatación será **$K_c = 3,7 \text{ mm/año}^{0.5}$** muy similar a la del caso anterior.

ESTIMACIÓN DE PROFUNDIDAD DE CARBONATACIÓN EN ELEMENTOS DE HORMIGÓN

*Según referencia a formulación de Fernández París de Hamada (1968) en "Tecnología y propiedades mecánicas del Hormigón", Adolfo Delibes Liniers, Ed. Intermac

• RELACIÓN AGUA/CEMENTO	ω	0,60	• RECUBRIMIENTO (cms)	r	1
• TIPO DE CEMENTO USADO	r_1	Portland Normal	• AÑO DE FINAL DE LAS OBRAS	t_0	1920
• TIPO DE ARIDO	r_2	Rodado de Río	• AÑO ACTUAL	t_f	2011
• ADITIVO UTILIZADO	r_3	Normal	• EDAD DEL HORMIGÓN (AÑOS)	t	91

R	$r_1 \cdot r_2 \cdot r_3$	1,0000	DATOS DE CÁLCULO INTERMEDIOS
α	$f(\omega)$	0,1384	
a	$R \cdot \alpha$	0,3720	

PROF. DE CARBONATACIÓN ESTIMADA (cms)
$X \text{ (estimada)} = 3,549 \text{ cms}$

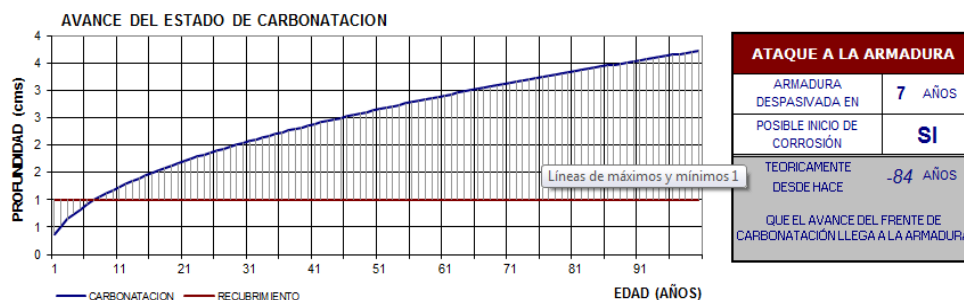


Fig. 3.52: Avance frente carbonatación Caso II: Elaboración propia

**CASO III: CANAL CALZAS ANCHAS.**

La fecha de finalización de la construcción del Canal Calzas Anchas es Diciembre 2011, hace aproximadamente 4 años. En 2014 aparecieron fallos estructurales significativos. El proyecto indica que el hormigón utilizado es HA-30/B/20/IIb+Qb con un recubrimiento de 3,5 cm. Según estudios realizados, el contenido de cemento del hormigón de los muros es de 320 Kg/m³ aproximadamente, con lo que se trata de un hormigón de alta calidad. Se ha utilizado un CEM II/A-M (V-L) 42,5 R con un aditivo FOSROC MR 285.

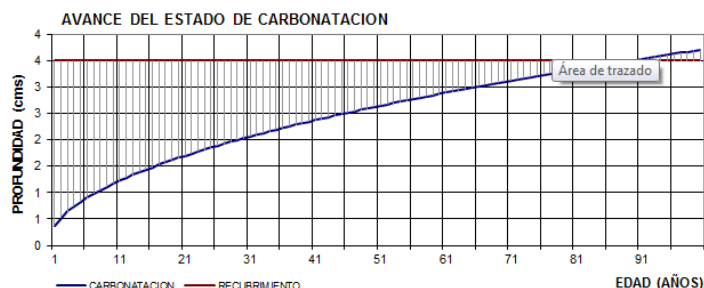
ESTIMACIÓN DE PROFUNDIDAD DE CARBONATACIÓN EN ELEMENTOS DE HORMIGÓN

*Según referencia a formulación de Fernández París de Hamada (1968) en "Tecnología y propiedades mecánicas del Hormigón", Adolfo Delibes Liniers, Ed. Intermac

• RELACIÓN AGUA/CEMENTO	ϕ	<input type="text" value="0.50"/>	• RECUBRIMIENTO (cms)	r	<input type="text" value="3,5"/>
• TIPO DE CEMENTO USADO	r_1	Portland Normal	• AÑO DE FINAL DE LAS OBRAS	t_0	2011
• TIPO DE ARIDO	r_2	Cenizas	• AÑO ACTUAL	t_f	2015
• ADITIVO UTILIZADO	r_3	Fluidificantes	• EDAD DEL HORMIGÓN (AÑOS)	t	4

R	$r_1 \cdot r_2 \cdot r_3$	1,3200	DATOS DE CALCULO INTERMEDIOS
α	$f(\phi)$	0,0786	
a	$R \sqrt{\alpha}$	0,3701	

PROF. DE CARBONATACION ESTIMADA (cms)	
X (estimada) =	0,740 cms



ATAQUE A LA ARMADURA	
ARMADURA DESPASIVADA EN	89 AÑOS
POSIBLE INICIO DE CORROSIÓN	NO
TEÓRICAMENTE AUN FALTAN PARA QUE OCURRA QUE EL AVANCE DEL FRENTE DE CARBONATACIÓN LLEGA A LA ARMADURA	85 AÑOS

Fig. 3.53: Avance frente carbonatación Caso III: Elaboración propia

Con estos datos podemos observar como actualmente no existen procesos de despasivación de la armadura derivados de la carbonatación del hormigón, puesto que el proceso de difusión del CO₂ aún no ha penetrado en la zona de influencia de la armadura (recordamos que esta tiene un recubrimiento de 3,5 cm según proyecto) y actualmente el frente de carbonatación teórico que sufre la estructura está a 0,74 cm de la superficie.

Además podemos observar como la Constante de Carbonatación $K_c = 3,7 \text{ mm/año}^{0.5}$ muy similar a la del caso anterior teniendo en cuenta las diferencias significativas entre la relación del contenido Agua/Cemento, el Uso de aditivos y el tipo de árido utilizado.

CLORUROS

Si se puede establecer el "perfil" de penetración de ión cloruro para la estructura (teniendo en cuenta que se produce por un proceso de difusión, debido al transporte que se produce de los agentes activadores de la corrosión como consecuencia de la diferencia de concentración de estos entre diversas zonas), y se admite que la condición de exposición futura no diferirá significativamente de la que corresponde a la "historia" del hormigón, es posible estimar con cierto grado de aproximación cuánto tardaría el inicio del proceso activo de corrosión, es decir, la propagación del daño.

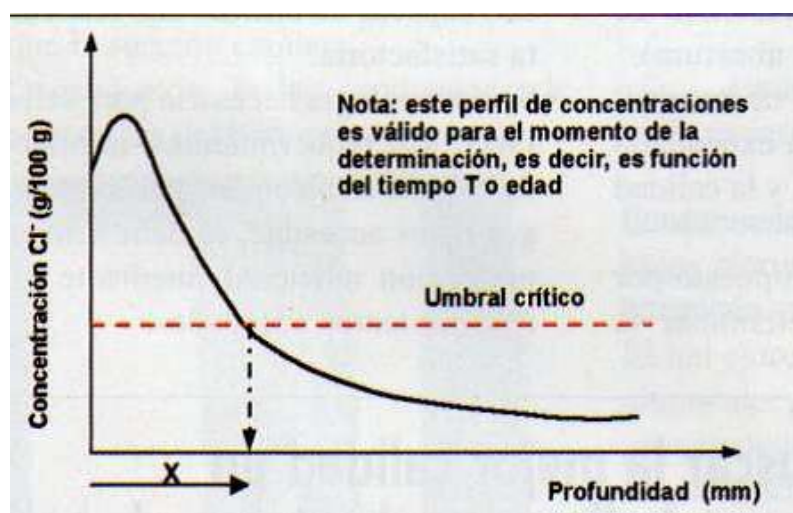


Fig. 3.54: Umbral crítico de concentración de cloruros EHE 08

Para ello, se emplea el siguiente gráfico y supondremos que la rama descendiente de la curva se aproxima a una parábola, es decir, la concentración Cl^- de ión cloruro, (para un tiempo t correspondiente al momento de la medición) se puede expresar como una constante K por la raíz cuadrada de la profundidad x , medida desde el exterior del hormigón.

$$c(t) = K \cdot \sqrt{x}$$

Para ello habrá que tener en cuenta la capacidad del medio para provocar el proceso de difusión, en este caso esta dependerá de diversos factores entre los que destacan:

- Porosidad del hormigón (Depende del volumen de poros, el volumen de vacíos y la interacción entre estos poros)
- Interacción con los sólidos (interacción física o química entre los agentes agresivos y el sólido (gel CHS o Sal de Friedel)).

Teniendo en cuenta esto existen unos modelos de cálculos



Si las condiciones de exposición no cambian, puede asumirse que la constante K, que representa la influencia del conjunto de condiciones de exposición sobre la penetración del ión cloruro, se mantiene por lo que puede establecerse el siguiente conjunto de ecuaciones:

$$X1(t) = K \cdot \sqrt{t1}$$

$$X2(t) = K \cdot \sqrt{t2}$$

Si se determinó que, para el momento t de la medición, el umbral crítico se presentó a x mm de profundidad, será posible estimar cuánto tiempo tardará en alcanzarse el umbral crítico para el espesor de recubrimiento.

Rigiéndonos por la normativa EHE 08, el umbral crítico de concentración de cloruros a partir del cual es muy alto el riesgo de corrosión se establece en 0,4% peso de cemento. Como hemos indicado con anterioridad para un hormigón de calidad media-baja (250-300 Kg/cm³) este límite de concentraciones se puede establecer en 0,05% a 0,1% del peso del hormigón.

Debemos indicar que esta es una estimación aproximada ya que diversas investigaciones muestran que la velocidad de penetración realmente es realmente menor. De este modo se concluye que los modelos de ingreso de cloruros basados en la ley de Fick (Tuutti, 1982; Sagüés, 2003; Maage, 1996; Baroghel-Bouny, 2002; Berke, 1986) [78], tienen la limitación de no tener una solución analítica exacta ya que las condiciones de contorno y límite no se dan en la realidad debido a que tanto la concentración superficial Cs, como el coeficiente de difusión D, no son constantes (Andrade, 2006). [78]

Por lo tanto esta falta de calibración de las predicciones y su incertidumbre hacen muy complicado el establecer propiedades de las mezclas de hormigón que aseguren altas durabilidades de hormigón como se demanda en la actualidad.

De esta manera se utiliza actualmente para el caso del ataque por cloruros una solución de la ecuación de Fick en estado no estacionario.

$$-J(x) = \frac{\partial C(x)}{\partial t} = D_{ap} \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$$

Cuya solución para un medio semi finito es la siguiente:

$$C_x = C_s \cdot \left(1 - \operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right)$$

Donde **C_x** es la concentración de cloro a una profundidad x después de un tiempo t

C_s Es la concentración de equilibrio del Cloro de la superficie de hormigón

Erf= es una función error

D es el coeficiente de difusión en m²/s



Varios autores consideran que, una característica que distingue la difusión de los cloruros en el hormigón, de un proceso de difusión de cloruros ordinario es la dependencia del coeficiente de difusión con el tiempo. El comportamiento del coeficiente de difusión se puede expresar en los términos de una ecuación matemática que obedezca el comportamiento experimental del sistema y que proponga una relación que dependa de la variable independiente elegida, como es el caso del tiempo, $D(t)$, expresado en cm^2/s .

Tal es así que por ejemplo en el hormigón fresco, la concentración de cloruros en la superficie es, por lo general, muy pequeña, sin embargo, cuando el hormigón está expuesto a ambientes marinos, la concentración en su superficie empieza a aumentar de manera significativa. En estos ambientes, los cloruros son transportados por medio del aire a la superficie en forma de pequeñas gotas de agua de mar.

Así la concentración del ion cloro en la capa superficial es controlada tanto por el proceso de depositación de los cloruros presentes en el aire como por el efecto contrario de lavado por el agua de la lluvia.

Según la autora Carmen Andrade en su artículo "*Especificaciones de cálculo de la vida útil y estado límite de corrosión*" [78], este modelo no se ajusta a la realidad ya que las condiciones iniciales y de contorno que se consideran para la resolución de esta expresión no se producen en la realidad, tal es así que:

- _ C_s no permanece constante, sino que varía con el tiempo.
- _ D no es constante, ya que varía con la concentración de cloruros y parece variar con el tiempo.
- _ Sólo considera fenómenos de difusión, cuando la absorción es un fenómeno frecuente en medios marinos.

De este modo C. Andrade indica que se ajusta mucho mejor a esa realidad otra fórmula basada en la aparición de una zona diferenciada en la superficie del hormigón (efecto piel), igualmente se considera que el coeficiente de Difusión D disminuye con el tiempo según la expresión (Mangat 1994)

$$D_{cl}(t) = D_{cl}(t_0) \left(\frac{t_0}{t} \right)^n$$

Donde n = factor de edad, que resulta ser el parámetro más determinante.

Por lo tanto la autora indica [78], que los modelos teóricos de penetración del agente agresivo que son más complejos están todavía en fase de desarrollo ya que no se ha podido implementar correctamente a largo plazo, por lo que sus predicciones dependen de una variable de error, ya que los parámetros utilizados son aproximados sin posibilidad de verificación actual.



3.3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS.

Se extraen una serie de probetas para analizar los siguientes datos en cada uno de los elementos a analizar:

HORMIGÓN

- _ Calidad del hormigón
- _ Tensiones de Rotura
- _ Profundidad de Frente de Carbonatación
- _ Porcentaje (%) de sulfatos
- _ Porcentaje (%) de cloruros.

ACERO

- _ Resistencia y Límite Elástico
- _ Módulo de Elasticidad.

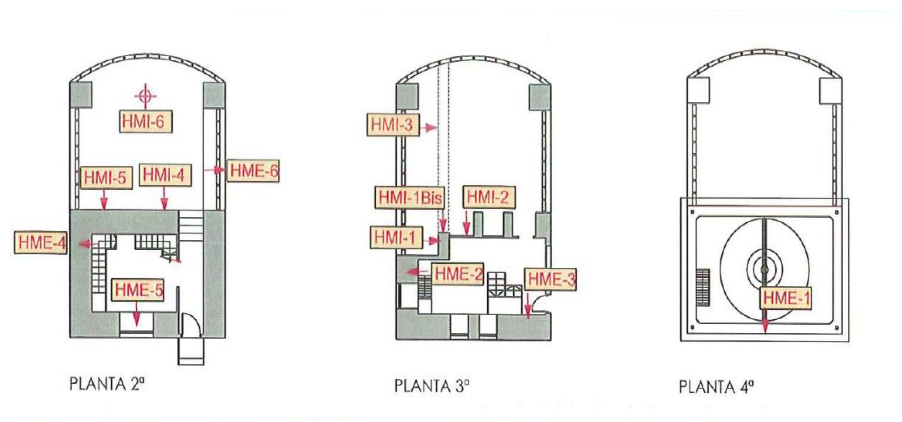
CASO I: TORRE VIGILANCIA CASTILLO SAN SEBASTIAN**HORMIGÓN**

Fig. 3.55. Ubicación de los testigos de H.A extraídos para la realización de los ensayos descritos. (Tragsatec)

Inicialmente se tomará la medida de ultrasonido en las probetas de hormigón extraídas, el primer resultado que se debe obtener de los datos recopilados es la velocidad de pulso en el elemento que se va a ensayar, la cual se obtiene mediante la siguiente expresión.

$$\text{Velocidad de Pulso (km/seg)} = \frac{\text{Distancia entre transductores (cm)} * 10}{\text{Lectura de tiempo (microseg)}}$$

Con este dato, podemos determinar la calidad del elemento probado, consultando algunos de los criterios de clasificación de calidad que se muestran en las tablas siguientes.

Clasificación de la calidad del hormigón por medio de la velocidad de onda según Leslie y Cheesman.			
Velocidad de la onda longitudinal m/seg		Condición del hormigón	
Más de 4570		Excelente	
De 3050 a 4570		Buena	
De 3050 a 3650		Regular a dudosa	
De 2130 a 3050		Pobre	
Menos de 2130		Muy pobre	
N/REF ^a	S/REF ^a		
M-7632	TESTIGO HORMIGÓN. D. 170 mm. HME-1		
M-7633	TESTIGO HORMIGÓN. D. 170 mm. HME-2		
M-7634	TESTIGO HORMIGÓN. D. 143 mm. HME-3		
M-7635	TESTIGO HORMIGÓN. D. 143 mm. HME-4		
M-7636	TESTIGO HORMIGÓN. D. 143 mm. HME-5		
M-7637	TESTIGO HORMIGÓN. D. 100 mm. HME-6		
M-7638	TESTIGO HORMIGÓN. D. 100 mm. HMI-6 BIS		
M-7639	TESTIGO HORMIGÓN. D. 100 mm. HMI-1		
M-7640	TESTIGO HORMIGÓN. D. 100 mm. HMI-1 BIS		
M-7641	TESTIGO HORMIGÓN. D. 100 mm. HMI-2		
M-7642	TESTIGO HORMIGÓN. D. 100 mm. HMI-3		
M-7643	TESTIGO HORMIGÓN. D. 100 mm. HMI-4		
M-7644	TESTIGO HORMIGÓN. D. 100 mm. HMI-5		
M-7645	TESTIGO HORMIGÓN. D. 100 mm. HMI-6		
ENSAYOS SOLICITADOS:			
Determinación de la velocidad de propagación de impulsos ultrasónicos			
MUESTRA	TIEMPO (µs)	ESPACIO (cm)	VELOCIDAD (m/s)
7632	64,2	29,1	4533
7633	69,4	26,3	3790
7634	75,8	28,4	3747
7635	63,2	25,6	4051
7636	54,6	21,0	3846
7637	43,5	18,4	4230
7640	47,3	19,6	4144
7641	50,5	19,6	3881
7642	51,5	19,6	3806
7643	52,8	19,6	3712
7644	51,5	19,7	3825
7645	24,6	11,7	4756

Tabla 3.4. Clasificación de la calidad del hormigón según velocidad de onda según Leslie y Cheesman.

(<http://personales.upv.es/fbardisa/Pdf/Ensayos%20de%20hormig%C3%B3n%20en%20estructuras.pdf>)



Observamos que todas las probetas inspeccionadas alcanzan una calidad de buena a excelente según esta clasificación.

Evaluación la calidad mediante la velocidad de pulso según Agraval y otros.	
Velocidad de pulso m/seg	Condición del hormigón
Más de 3000	Buena
De 2500 a 3000	Regular
Menos de 2130	Pobre

Tabla 3.5. Clasificación de la calidad del hormigón según velocidad de onda según Agraval y otros

(<http://personales.upv.es/fbardisa/Pdf/Ensayos%20de%20hormig%C3%B3n%20en%20estructuras.pdf>)

Según otros autores entre los que se encuentra Agraval,, la calidad del hormigón recibe una calificación buena.

Extrapolamos estos resultados con las orientaciones de cada uno de los testigos extraídos y la planta a la que pertenece.

PROBETAS	HME1	HME2	HME3	HME4	HME5	HME6	HMI1	HMI2	HMI3	HMI4	HMI5	HMI6
Tiempo (microseg)	64,20	69,4	75,8	63,2	54,6	43,5	47,3	50,5	51,5	52,8	51,5	24,6
Vel (m/s)	4533	3790	3747	4051	3846	4230	4144	3881	3806	3712	3825	4756
Espacio (cm)	29,1	26,3	28,4	25,6	21	18,4	19,6	19,6	19,6	19,6	19,7	11,7
Resist (N/mm ²)	21,6	17,9	20,6	26	18,8	18,2	24,3	27,9	24,7	18,6	25,9	24,8
Nº planta	4ª	3ª	3ª	2ª	2ª	2ª	3ª	3ª	3ª	2ª	2ª	2ª
ORIENTACIÓN	E	S	E	S	E	N	S	O	S	O	O	O

Tabla 3.6. Tabla datos según probetas extraídas en Torre Vigía. Castillo San Sebastián. Cádiz. Elaboración propia

Se realizan estas mediciones para cada uno de los elementos estructurales del edificio, obteniéndose los siguientes resultados para cada una de estas lecturas tanto directas como indirectas.



MEDIDAS DE ULTRASONIDOS EN MUROS INTERIORES					
PLANTA	LECTURA	TIPO DE LECTURA	Tiempo (microseg)	Espesor (m)	Velocidad (m/s)
1	1	Directa	81,5	0,8	9.815,95
	3	Indirecta	105,60	0,20	1.841,62
	3		258,90	0,40	1.545,00
	3		385,90	0,60	1.354,61
	3		493,10	0,80	1.622,39
	3	Indirecta	635,00	1,00	1.574,80
	4		117,60	0,20	1.700,69
	4		243,80	0,40	1.640,69
	4		320,80	0,60	1.870,32
	4	Indirecta	663,20	0,80	1.206,27
	4		729,80	1,00	1.370,24
	5		143,20	0,20	1.396,85
	5		343,80	0,40	1.163,47
	5	Indirecta	-	0,60	-
	5		888,50	0,80	900,39
	5		-	1,00	-
	6		128,90	0,20	1.551,59
	6	Indirecta	370,90	0,40	1.078,46
	6		506,00	0,60	1.185,77
	6		675,20	0,80	1.184,83
	6		923,50	1,00	1.082,84
	7	Indirecta	101,50	0,20	1.970,44
	7		343,00	0,40	1.166,18
	7		547,00	0,60	1.096,89
	7		642,90	0,80	1.244,36
	7		885,20	1,00	1.129,69
2	5	Directa	219,50	0,60	2.733,49
	6	Directa	203,50	0,60	2.948,40
	7	Directa	163,40	0,60	3.671,97
3	1	Indirecta	126,50	0,20	1.581,03
	1		235,30	0,40	1.699,98
	1		332,20	0,60	1.806,14
	1		528,20	0,80	1.514,58
	1	Directa	612,00	1,00	1.633,99
	3		350,00	0,39	1.114,29
	4		114,60	0,37	3.228,62
	5		333,20	0,39	1.170,47
	7	Directa	112,30	0,39	3.472,64
	8	Indirecta	118,20	0,20	1.692,05
	8		126,60	0,40	3.154,57
	8		375,10	0,60	1.599,57
	8		477,00	0,80	1.677,15
	8	Directa	509,00	1,00	1.964,64
	13		84,70	0,30	3.541,91
	14		86,20	0,30	3.480,28
	15		70,30	0,30	4.267,43
	16	Directa	63,20	0,30	3.805,77
	17	Directa	73,00	0,30	4.109,69
	18	Directa	79,80	0,30	3.759,40

MEDIDAS DE ULTRASONIDOS EN MUROS EXTERIORES					
PLANTA	LECTURA	TIPO DE LECTURA	Tiempo (microseg)	Espesor (m)	Velocidad (m/s)
1	2	Directa	63,10	0,80	12.678,29
2	1	Directa	271,60	1,00	3.681,89
	2		221,90	1,00	4.506,53
	3		103,60	1,07	10.328,19
	3		98,90	0,88	8.695,65
	4	Indirecta	417,90	1,00	2.392,92
	8		76,20	0,20	2.624,67
	2		220,40	0,40	1.814,88
	2		388,80	0,60	1.551,19
	2	Directa	474,60	0,80	1.685,63
	2		841,50	1,00	1.188,35
3	6	Indirecta	132,80	0,80	6.024,10
	9		53,20	0,22	4.135,34
	10		60,40	0,85	14.072,85
	11		225,10	0,20	888,49
	11	Directa	343,20	0,40	1.165,50
	11		558,90	0,60	1.073,54
	11		725,20	0,80	1.103,14
	11		836,20	1,00	1.195,89
	12	Indirecta	86,40	0,20	2.314,81
	12		224,80	0,40	1.779,39
	12		544,90	0,60	1.101,12
	12		773,30	0,80	1.034,53
	12	Directa	814,30	1,00	1.228,05
	19		115,70	0,20	1.728,61
	19		216,60	0,40	1.846,72
	19		379,80	0,60	1.579,78
	19		462,00	0,80	1.731,60
4	19	Indirecta	562,10	1,00	1.779,04
	20		118,30	0,20	1.690,62
	20		300,90	0,40	1.329,35
	20		479,20	0,60	1.252,09
	20	Directa	567,40	0,80	1.409,94
	20		707,10	1,00	1.414,23
	1		95,60	0,40	4.184,10
	2		104,20	0,40	3.838,77
	3		96,80	0,40	4.132,23
	4		95,00	0,40	4.210,53
5	5	Directa	92,80	0,40	4.310,34
	6		102,30	0,40	3.910,07
	7		101,20	0,40	3.952,57
	8		108,00	0,40	3.703,70

MEDIDAS DE ULTRASONIDOS EN PROBETAS DE HORMIGÓN			
MUESTRA	Tiempo (microseg)	Velocidad (m/s)	Resistencia (N/mm ²)
HME-1	64,20	4533,00	21,60
HME-2	69,40	3790,00	17,90
HME-3	75,80	3747,00	20,60
HME-4	83,20	4051,00	26,00
HME-5	54,60	3846,00	18,80
HME-6	43,50	4230,00	18,20
HMI-1BIS	47,30	4144,00	24,30
HMI-2	50,50	3881,00	27,90
HMI-3	51,50	3806,00	24,70
HMI-4	52,80	3712,00	18,60
HMI-5	51,50	3825,00	25,90
HMI-6	24,80	4756,00	24,80

NOTA:

Las medidas indirectas se hacen de forma longitudinal en 1m con lecturas cada 20 cm

HMI, hace referencia a los testigos tomados en los muros interiores del castillete

HME, hace referencia a los testigos tomados en los muros exteriores del castillete

Las medidas de las 2 primeras tablas corresponden a las realizadas en las diferentes plantas de la torre vigía (castillete)

Tabla 3.7. Tabla mediciones ultrasonido elementos estructurales Torre Vigía. Castillo San Sebastián. Cádiz. (Fuente: Geocisa)

En estas lecturas podemos apreciar como la calidad del hormigón va variando según la orientación donde se realiza este análisis, esto puede indicarnos el proceso de deterioro que sufre este material en cada zona de la construcción y como puede verse afectado el estado del material según la orientación a la que esté situado.

Posteriormente se elaboran los ensayos de resistencia a compresión de las diferentes probetas extraídas con los siguientes resultados:

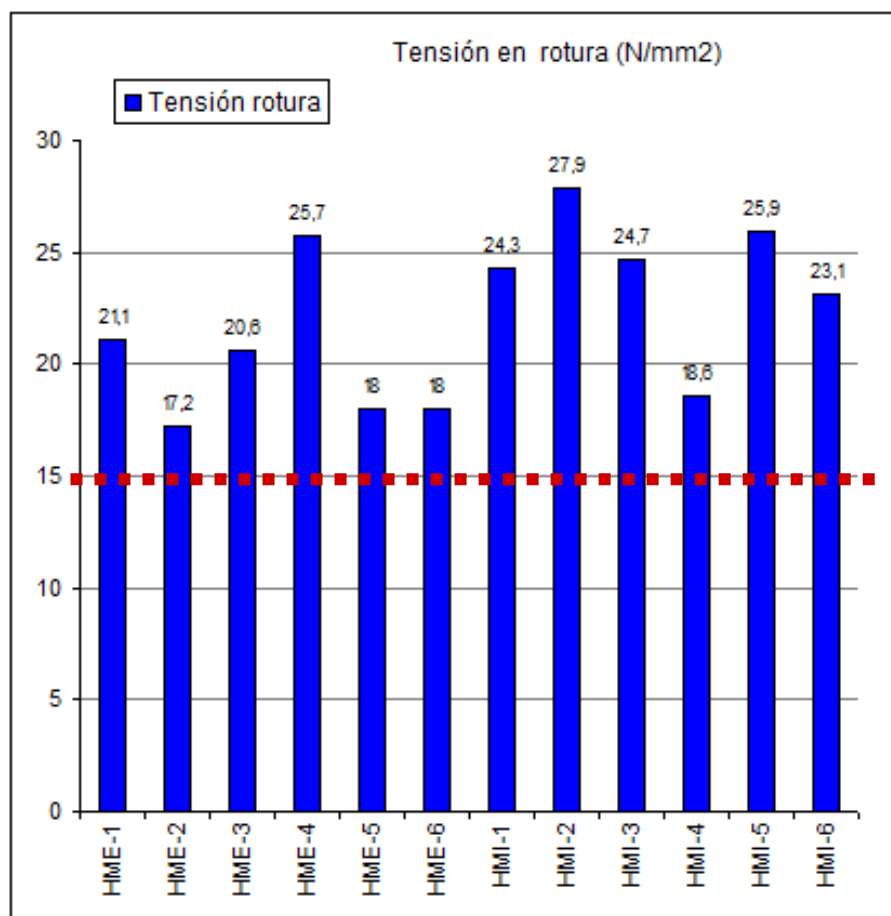


Tabla 3.8. Tabla Tensión rotura probetas Torre Vigía. Castillo San Sebastián. Cádiz. (Fuente: Geocisa)

Referencia	Tensión de rotura(N/mm ²)
HME-1	21,1
HME-2	17,2
HME-3	20,6
HME-4	25,7
HME-5	18,0
HME-6	18,0

Referencia	Tensión de rotura(N/mm ²)
HMI-1 BIS	24,3
HMI-2	27,9
HMI-3	24,7
HMI-4	18,6
HMI-5	25,9
HMI-6	23,1

Como se puede comprobar, los resultados obtenidos no son resultados homogéneos, con un valor mínimo de 17,20 MPa y un máximo de 27,90 MPa. La media del valor de Resistencia a compresión de las probetas ensayadas es de 22,1 MPa.



Para el cálculo de la resistencia característica estimada se ha adoptado el criterio establecido en la EHE.

$$f\left(\bar{x}\right) = \bar{x} - K_2 r_N \geq f_{ck}$$

Así, teniendo en cuenta lo estipulado en el artículo 86.5.4 de la EHE, para un número de muestras $N \geq 6$:

Tomando $K_2 = 0,66$ y $r_N = \text{Valormax} - \text{Valormin} = 27,9 - 17,2 = 10,7$, la resistencia puede estimarse en 15 MPa.

Teniendo en cuenta que inicialmente se puede suponer la utilización de un hormigón H175 tanto para hormigón en masa como armado consideramos que la resistencia estimada utilizando datos y formulaciones de la EHE es excesivamente baja debido a problemas de corrosión de armaduras y carbonatación del propio hormigón que producen un descenso significativo en la resistencia de los elementos de hormigón armado, además teniendo en cuenta que el contenido de cemento de estos hormigones era muy bajo consideramos normal esta anomalía tal y como explican diferentes autores.

En resumen, a partir de los testigos extraídos y ensayados a compresión, la resistencia a compresión del hormigón se puede estimar en 15 MPa, resultando por tanto unas resistencias bastante bajas.

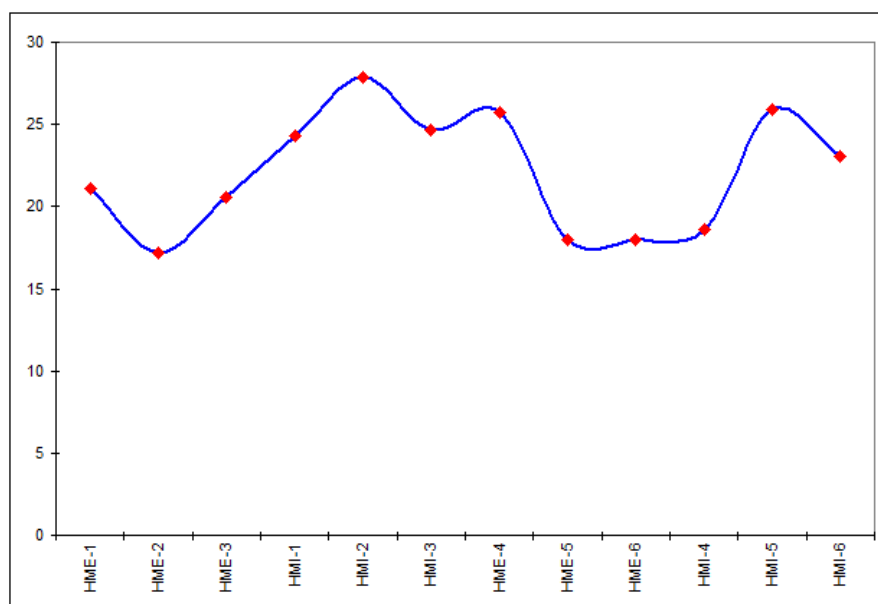


Tabla 3.9. Resistencia a compresión de las diferentes probetas Torre Vigía. Castillo San Sebastián. Cádiz. (Elaboración propia)

Según podemos observar las probetas tomadas en las zonas construidas en la segunda fase (Testigos del 1 al 3, año 1960) presentan una mayor tensión de rotura que las que están realizadas en la fase inicial (Testigos 4 al 6, año 1943) presumiblemente con un contenido de cemento menor que las anteriores.

Hay que tener en cuenta como se indicó anteriormente que el edificio se desarrolló en dos partes, la inicial (1943) ejecutada conjuntamente al polvorín presenta contenidos de cemento entre 125 y 150 kg/m³. Sin embargo la segunda parte del edificio realizada (1960) presenta un contenido en cemento cercano a los 200 kg/m³, tal

diferencia en el contenido de cemento se puede apreciar a simple vista en las probetas extraídas. El hormigón de la fase 1 es mucho más poroso y menos pesado que el de la fase dos.



Fig. 3.56. Hormigón Fase I. Torre Vigía Castillo San Sebastián Cádiz. Elaboración propia



Fig. 3.57. Hormigón Fase II. Torre Vigía Castillo San Sebastián Cádiz. Elaboración propia



Fig. 3.58. Corrosión armaduras. Torre Vigía Castillo San Sebastián Cádiz. Elaboración propia



Fig. 3.59. Corrosión armaduras. Torre Vigía Castillo San Sebastián Cádiz. Elaboración propia

Se establecen los perfiles de Carbonatación de las probetas, obteniéndose los siguientes resultados.

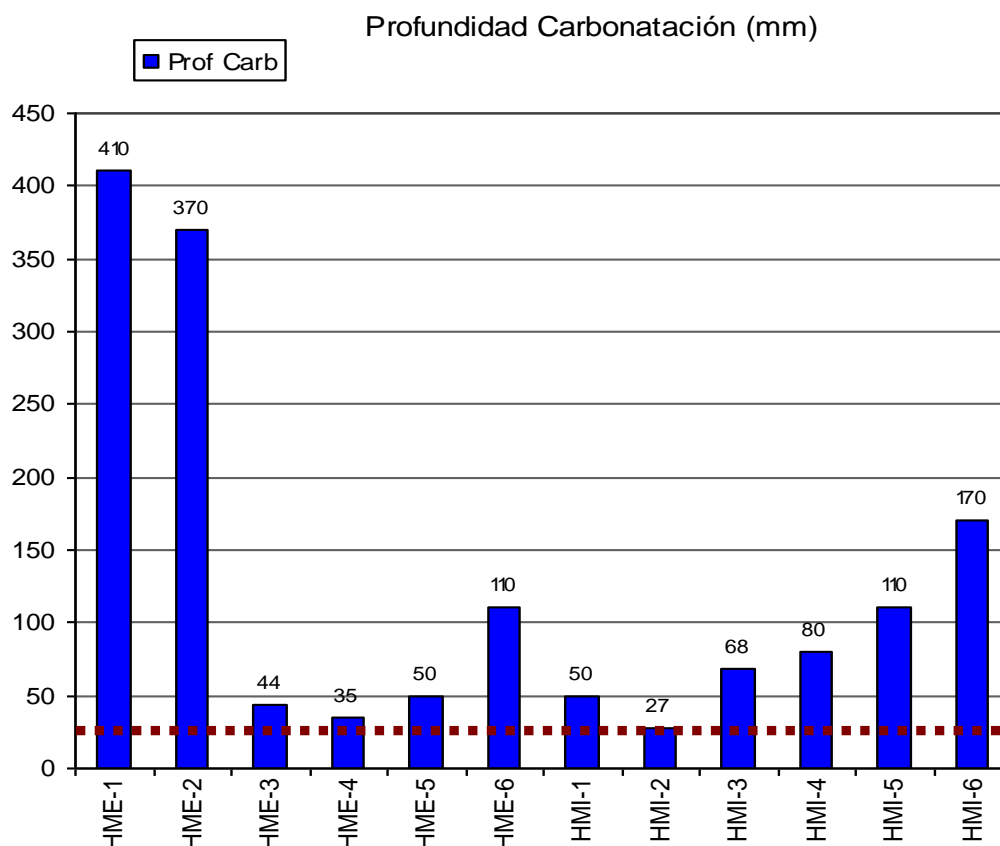


Fig. 3.60. Perfiles Carbonatación Probetas. Torre Vigía Castillo San Sebastián Cádiz. (Fuente Geocisa)

Establecemos como espesor de recubrimiento standart 20 mm según inspección visual realizada, por lo tanto podemos observar como en todos los testigos la carbonatación ha llegado a la armadura de esta manera, el acero ha dejado de estar en estado pasivo al haber disminuido el pH del hormigón que rodea a las armaduras con lo que podemos afirmar que los procesos de corrosión están activos.

Los datos de HME-1 y HME-2 son excesivamente altos respecto al resto de probetas. Debemos de tener en cuenta que estos testigos están sacadas de la planta alta de la Torre concretamente de la ampliación y en orientaciones Este y Sur. Podemos considerar inicialmente que debido a la especial composición de este cuerpo superior el hormigón se haya ido carbonatando desde el interior y el exterior del muro (lo que supone que la difusión de CO_2 se ha producido desde los dos lados de la sección del muro), al estar abierta toda la superficie de la planta, y por ese motivo nos encontremos con unas profundidades de carbonatación que cubren íntegramente el espesor de las probetas seleccionadas.

Como hemos visto anteriormente en el análisis teórico de resultados para obtener un primer avance de avance de carbonatación supondremos como en cualquier proceso de difusión que este depende de la raíz cuadrada del tiempo, estando en concordancia con lo expuesto por Tutti:



$$X_c = K_c \sqrt{t}$$

X_c : Profundidad de la capa carbonatada en mm

K_c : Constante de carbonatación en $\text{mm/año}^{0.5}$

Depende de la difusión, de la diferencia de concentraciones y de la cantidad de CO_2 reaccionando

t: Tiempo (edad del hormigón)

Teniendo en cuenta que disponemos del tiempo y de la profundidad de la capa carbonatada, obtendremos la Constante de carbonatación para cada una de las distintas probetas analizadas.

PROBETAS	HME1	HME2	HME3	HME4	HME5	HME6	HMI1	HMI2	HMI3	HMI4	HMI5	HMI6
TIEMPO(años)	51	51	51	68	68	68	51	51	51	68	68	68
X_c (mm)	410	370	44	35	50	110	50	27	68	80	110	170
K_c ($\text{mm/año}^{0.5}$)	57,4	50,4	6,16	4,24	6,06	13,33	7	3,78	9,52	9,7	13,33	20,6
Nº planta	4ª	3ª	3ª	2ª	2ª	2ª	3ª	3ª	3ª	2ª	2ª	2ª
ORIENTACIÓN	E	S	E	S	E	N	S	O	S	O	O	O
HORMG	NO	NO	B	A	B	C	B	A	C	C	C	C

Tabla 3.10. Comparativa profundidad carbonatación diferentes probetas según su orientación Torre Vigía. Castillo San Sebastián. Cádiz.
(Elaboración propia)

Consideramos que los datos de profundidad de carbonatación de las probetas HME1 y HME 2 no nos dan resultados fiables y que como hemos comentado con anterioridad es probable que el avance del frente de carbonatación en estos elementos se haya producido en dos direcciones interior-exterior y viceversa, con lo cual ha llegado a carbonatarse por completo todo el espesor del elemento. En el resto de probetas comprobamos la existencia de datos dispares, de tal manera que encontramos coeficientes de carbonatación superiores a **13 $\text{mm/año}^{0.5}$** que clasificaremos como grupo C, este tipo se correspondería con hormigones poco compactos y de baja calidad. En este caso se dan todos en las probetas extraídas en el primer cuerpo de Torre construido lo que nos daría indica que el hormigón utilizado en esta primera construcción es de menor calidad, ya que posee un menor contenido de cemento que el utilizado en la segunda construcción.

Los grupos A y B se corresponderían a valores de la constante de carbonatación inferiores a **6 y a 9 $\text{mm/año}^{0.5}$** respectivamente, lo que nos indicaría un hormigón de mayor calidad y un mayor contenido de cemento en el elemento.

Asimismo hay que tener en cuenta que las profundidades de carbonatación dependen igualmente de la existencia de fisuras en los paramentos que permitan una mayor difusión del CO_2 en zonas cercanas a las armaduras, hecho que se ha producido en algunas zonas al haberse corroído la estructura, y la expansión de las partículas de óxido



originadas haya producido tensiones de tracción no soportadas por el hormigón originando fisuras, lo que permitiría la entrada masiva de CO_2 hasta zonas muy próximas a las armaduras carbonatándose posteriormente ese hormigón y despasivándose la armadura al bajar el pH del hormigón que la recubre. Esto nos puede llevar a conclusiones erróneas.

En este caso consideramos como hemos indicado anteriormente que las probetas HME1 y HME 2 presentan esta irregularidad, ya que prácticamente todo el espesor del elemento analizado presenta carbonatación lo que nos lleva a constantes de carbonatación del orden de **50 mm/año^{0.5}**, dato nos parece excesivo considerando únicamente la difusión del CO_2 a la hora del avance del frente de carbonatación.

Pasamos a analizar el contenido en sulfatos de las diferentes probetas analizadas.

PROBETAS	HME1	HME2	HME3	HME4	HME5	HME6	HMI1	HMI2	HMI3	HMI4	HMI5	HMI6
% sulfatos	0,63	1	1	0,61	0,51	0,95	0,93	0,92	0,79	0,86	0,51	0,95
Nº planta	4ª	3ª	3ª	2ª	2ª	2ª	3ª	3ª	3ª	2ª	2ª	2ª
ORIENTACIÓN	E	S	E	S	E	N	S	O	S	O	O	O
UMBRAL 0,8%	▼▼	►	►	▼▼	▼▼	▼	▼	▼	►	▼	▼▼	▼

Tabla 3.11. Comparativa porcentaje de sulfatos en las diferentes probetas según su orientación Torre Vigía. Castillo San Sebastián. Cádiz.
(Elaboración propia)

Los resultados de las distintas probetas son muy dispares y no se ajustan a ningún patrón definido. De las 12 probetas analizadas todas tienen porcentajes de sulfatos inferiores a los admisibles por la normativa vigente, que establece este umbral en un 0,8 % peso cemento (aproximadamente 1,2% peso hormigón). Pero entre el porcentaje de sulfatos existente en cada una de ellas hay diferencias notables (HME2 duplica el porcentaje del HMI5 por ejemplo).

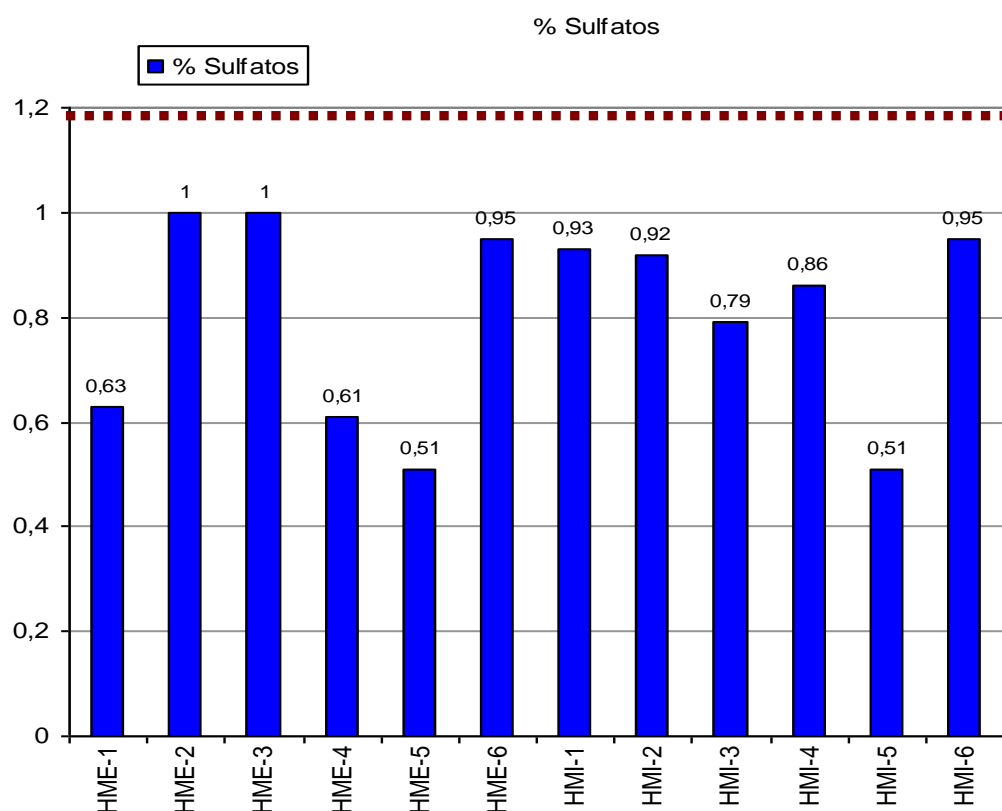


Fig. 3.61. Perfiles porcentaje sulfatos según Probetas. Torre Vigía Castillo San Sebastián Cádiz. (Fuente Geocisa)

Analizamos el porcentaje de cloruros existente en las probetas. Se establece un control más exhaustivo examinando el perfil de cloruros al principio y al final del testigo.

PROBETAS	HME1	HME2	HME3	HME4	HME5	HME6	HMI1	HMI2	HMI3	HMI4	HMI5	HMI6
% cloruros int	0,06	0,06	0,09	0,12	0,11	0,08	0,11	0,04	0,04	0,11	0,11	0,12
% cloruros ext	0,19	0,13	0,13	0,22	0,17	0,16	0,12	0,17	0,04	0,19	0,17	0,22
Espesor (mm)	29,1	26,3	28,4	25,6	21	18,4	19,6	19,6	19,6	19,6	19,7	11,7
K												
Nº planta	4ª	3ª	3ª	2ª	2ª	2ª	3ª	3ª	3ª	2ª	2ª	2ª
ORIENTACIÓN	E	S	E	S	E	N	S	O	S	O	O	O
Umbral	►▲	►▲	►▲	▲▲	▲▲	▼▲	▲▲	▼▲	▼▼	▲▲	▲▲	▲▲

Tabla 3.12. Comparativa porcentaje de cloruros en las diferentes probetas según su orientación Torre Vigía. Castillo San Sebastián. Cádiz. (Elaboración propia).

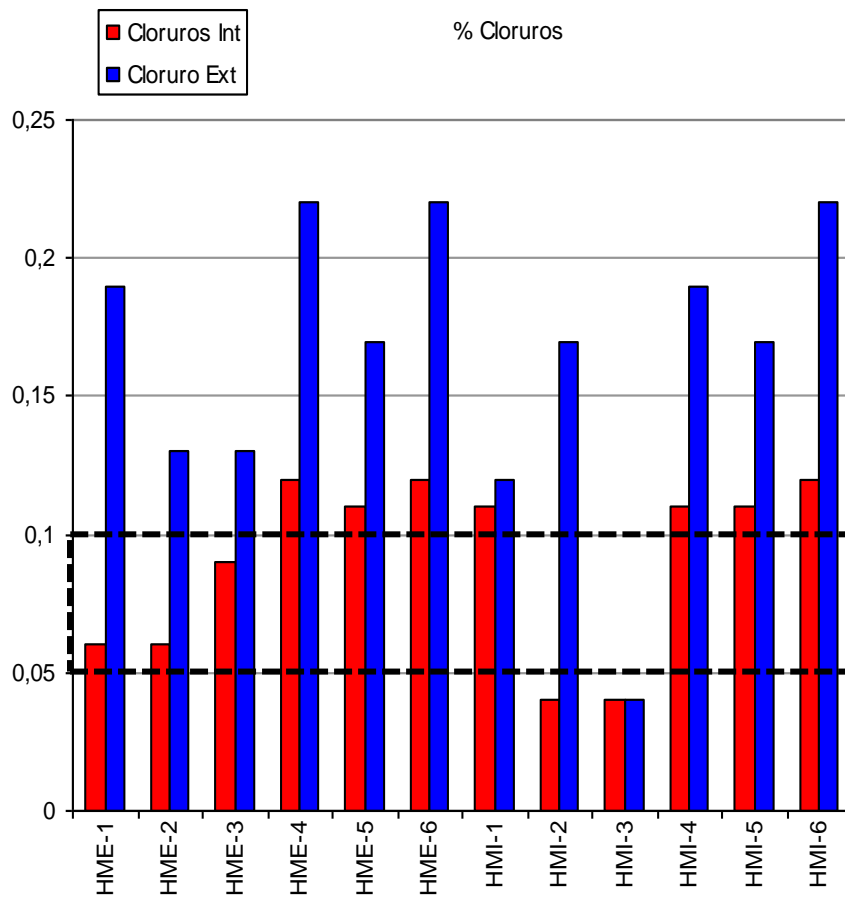


Fig. 3.62. Perfiles porcentaje cloruros según Probetas. Torre Vigía Castillo San Sebastián Cádiz. (Fuente Geocisa)

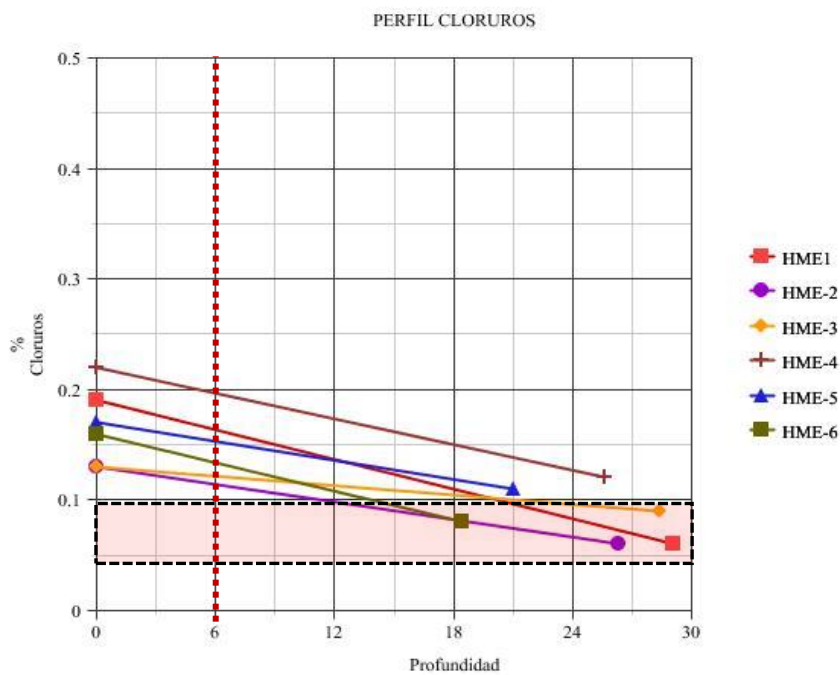


Fig. 3.63. Perfiles porcentaje cloruros según Probetas Exteriores. Torre Vigía Castillo San Sebastián Cádiz. (Fuente Geocisa)

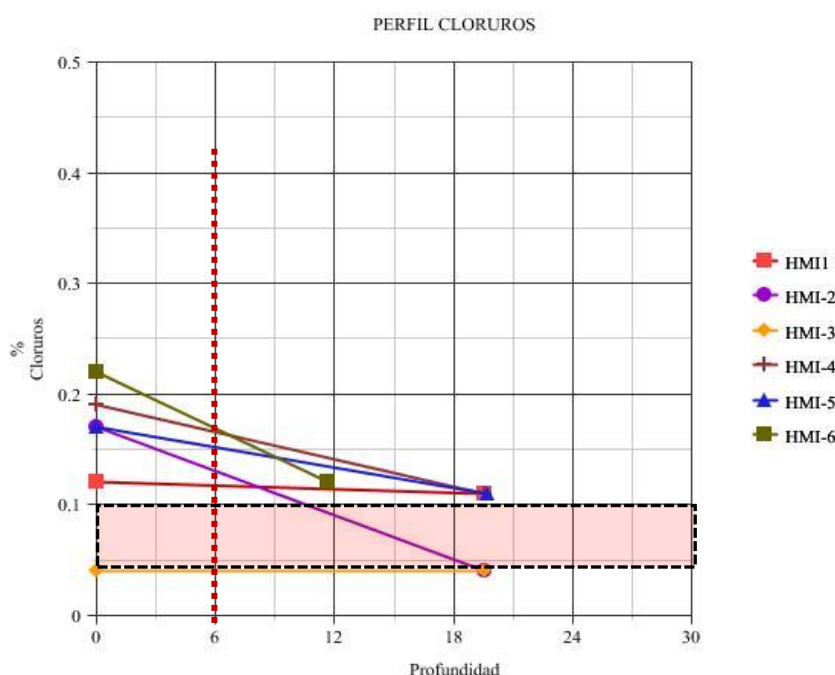


Fig. 3.64. Perfiles porcentaje cloruros según Probetas Interiores. Torre Vigía Castillo San Sebastián Cádiz. (Fuente Geocisa)

A nivel de la armadura (recubrimiento 2 cm), todas las probetas presentan concentraciones de cloruros muy por encima de lo que establece la Normativa EHE 08 (0,4% peso de cemento que equivale al 0,05-0,1% peso hormigón) al respecto, lo que nos da una idea de que los procesos de corrosión deben estar activos en todas las probetas.

Los resultados obtenidos nos indican la existencia de cloruros tanto en el exterior como en el interior de los paramentos, teniendo además en cuenta que todos menos uno, presentan porcentajes de cloruros muy por encima del umbral indicado por las normativas como máximo. Esto nos indica, tal y como afirman diversos autores con los que nos sentimos en sintonía, que probablemente el cloruro se encontraba inicialmente en la propia masa de hormigonado como contaminante de alguna de las materias primas (generalmente agua o arenas mal lavadas). Como vemos el contenido de cloruros es muy superior en el exterior, y tal y como afirman diversos autores, la concentración de cloruros decrece desde la superficie hasta el interior. Los cloruros, salvo que se encuentren como contaminantes de alguna de las materias primas de la mezcla, penetran en el hormigón desde el exterior por difusión.

Al ser un proceso de difusión puede suponerse (como hemos podido comprobar anteriormente) que la profundidad de penetración sigue una ley proporcional a la raíz cuadrada del tiempo.

Como vemos es excesiva la diferencia de % de cloruros entre el interior y exterior de los testigos, esto es debido a que el viento arrastra partículas procedentes de las sales marinas que quedan en los paramentos humedecidos con el rocío marino, al estar estos paramentos humedecidos el cloruro inicialmente penetra en el hormigón por succión capilar. Posteriormente al producirse el fenómeno de secado por el soleamiento además del efecto que el propio viento produce provoca que el agua superficial de los paramentos se evapore quedando por tanto un mayor

porcentaje de cloruros en la capa superficial. La repetición de este proceso provoca altas concentraciones de cloruros en las zonas donde se produce la humectación y el secado constante del paramento.

Como comentamos en el análisis teórico, a partir de los datos obtenidos podemos establecer el perfil de cloruros de cada probeta, así como concretar la edad a la que el hormigón superó el umbral crítico de contenido de cloruros para el espesor de recubrimiento existente, en este caso 20 mm.

ACERO

Se toman muestras de la armadura en dos puntos y se realizan una serie de ensayos de resistencia.

Un primer punto (F-1) localizado en la fachada norte y que corresponde a armadura secundaria. En este punto se han extraído 6 muestras.

Un segundo punto (F-2) de muestreo localizado en la esquina entre las fachadas sur y este, de armadura principal. En este punto se han extraído 2 muestras



Fig. 3.65. Toma muestras acero. Torre Vigía Castillo San Sebastián Cádiz. (Fuente Geocisa)

En todos los casos se trata de muestras de acero de barra lisa.

Punto F-1 Armadura secundaria zona norte. Los resultados del límite elástico al 0,2% (MPa) de las 6 muestras se indican a continuación:

Muestra	Límite elástico al 0,2% (MPa)
1	248
2	248
3	239
4	323
5	358
6	241

Tabla 3.13. Límite elástico ensayo sobre las muestras de acero del punto F-1. Elaboración propia

**Punto F-2. Armadura principal zona Sur y Este**

Los resultados del límite elástico al 0,2% (MPa) de las 2 muestras se indican a continuación:

Muestra	Límite elástico al 0,2% (MPa)
1	253
2	243

Tabla 3.14. Límite elástico ensayo sobre las muestras de acero del punto F-2. Elaboración propia

En base a la época de construcción y la bibliografía existente sobre las características del acero para barras lisas, se adopta un valor para el límite elástico característico de **240 MPa**.

CALCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD

Se toma un valor $E_s = 2 \times 10^5$ MPa.

Tomamos por tanto estos valores para el acero y el hormigón con los que analizaremos la pérdida de resistencia ocasionada por la corrosión en estas estructuras.

CASO II VILLA EL CASTILLITO

Se toman una serie de muestras para analizar la estructura, según se presentan en el siguiente esquema de extracción de testigos

PLANTA SÓTANO

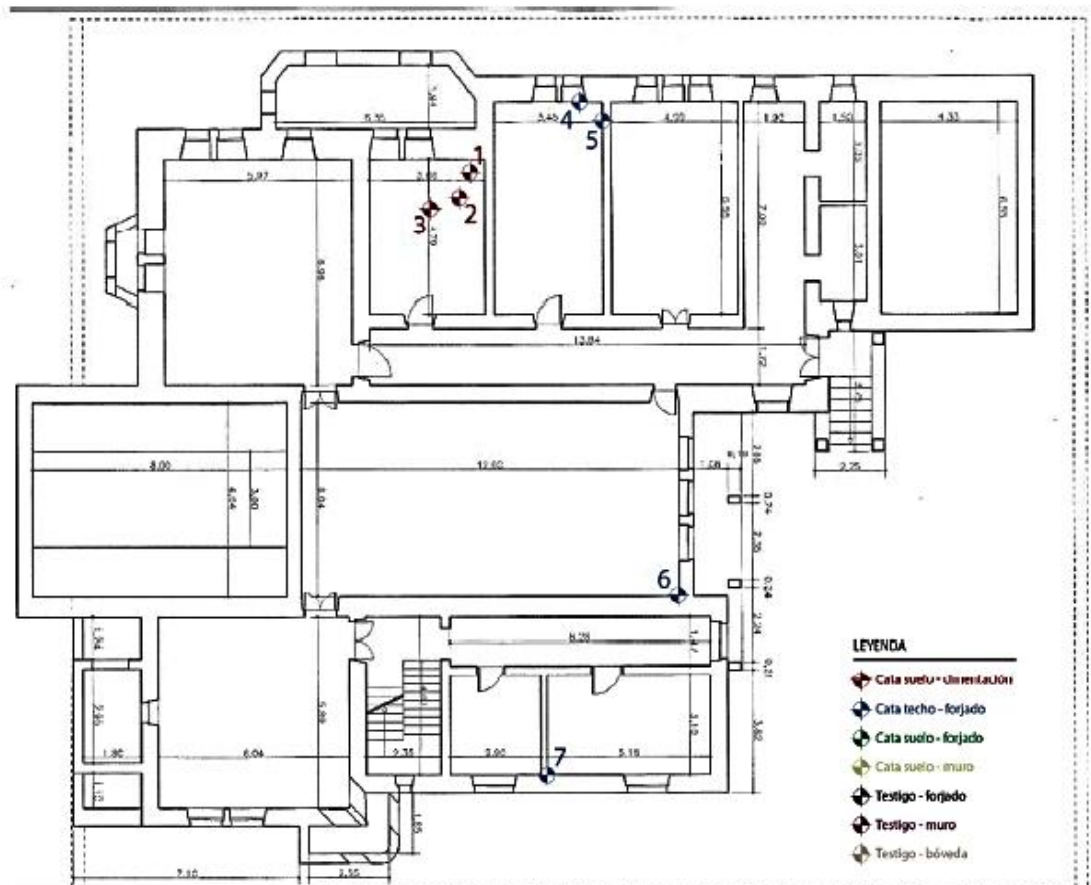


Fig. 3.66. Ubicación extracción de testigos Planta Sótano. Villa el castillito. Sanlúcar de Barrameda. (Fuente Songea)

PLANTA BAJA

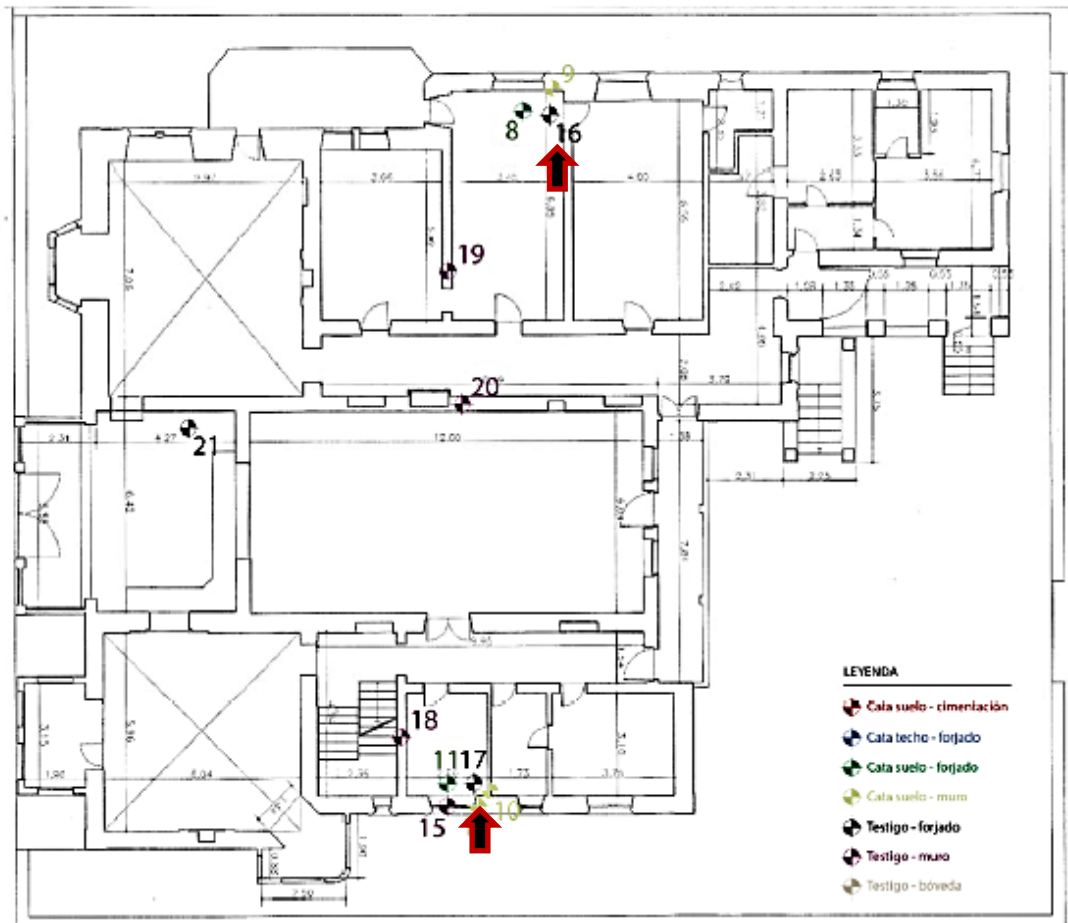


Fig. 3.67. Ubicación extracción de testigos Planta Baja. Villa el castillito. Sanlúcar de Barrameda. (Fuente Songea)

PLANTA PRIMERA

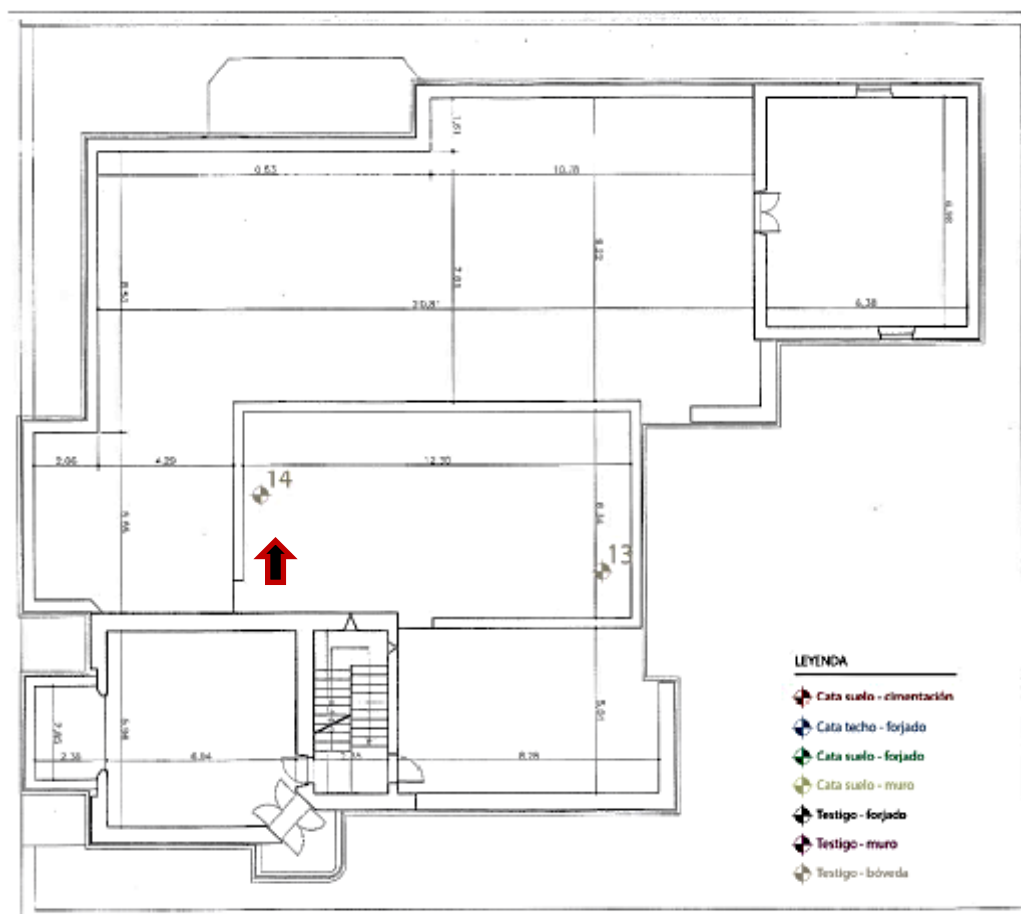


Fig. 3.68. Ubicación extracción de testigos Planta Primera. Villa el castillito. Sanlúcar de Barrameda. (Fuente Songea).



Fig. 3.69. Testigo extraído.. Villa el castillito. Sanlúcar de Barrameda. (Fuente Songea).



Fig. 3.70. Testigo extraído. Villa el castillito. Sanlúcar de Barrameda. (Fuente Songea).



Fig. 3.71. Testigo extraído. Villa el castillito. Sanlúcar de Barrameda. (Fuente Songea).



Fig. 3.72. Testigo extraído. Villa el castillito. Sanlúcar de Barrameda. (Fuente Songea).

Se realizan los ensayos de la Resistencia a compresión, contenido en cloruros y profundidad de carbonatación de las probetas extraídas.

TESTIGO NUMERO (Nº)	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (N/mm ²)	CONTENIDO CLORUROS (%)	CARBONATACIÓN (mm)
TESTIGO 14	30,37	0,014	
TESTIGO 16	21,45		15
TESTIGO 17	24,29		

Tabla 3.15. Valores de las probetas extraídas (Fuente Songea).

MEDIDA DE LA PROFUNDIDAD DE CARBONATACIÓN	
Máximo de penetración	
20	mm.
Mínimo de penetración	
10	mm.
Medida de penetración	
15	mm.



Fig. 3.73. Ensayo fenolftaleína en testigo. Profundidad carbonatación. Villa el castillito. Sanlúcar de Barrameda. (Fuente Songea).

ACERO.

Se realizan ensayos de tracción en las muestras de acero obtenidas en la estructura.

FUERZA MÁXIMA	9,44 kN
TENSION MAXIMA	331,1 N/mm ²
AGOTAMIENTO	4,5%
TENSION LIMITE	7,66 N
LIMITE ELASTICO	271,1 N/mm ²
F _s /F _y	1,232

DIAMETRO	6mm
TIPO DE ACERO	Sin determinar

Tabla 3.15. Valores ensayos sobre muestras acero. (Fuente Songea).

El acero de la muestra presenta un elevado proceso de corrosión afectando al diámetro nominal a lo largo de la sección de la muestra, con unas variaciones de $\pm 1,5$ mm. Así mismo, no ha sido posible detectar las corrugas del acero. Según la época de construcción de la edificación podemos determinar que este no presentaba corrugas en su estado inicial, aun así su pérdida de sección es considerable (aprox $\frac{1}{4}$ parte de su sección).



Fig. 3.74. Muestras acero. Villa el castillito. Sanlúcar de Barrameda. (Fuente Songea).

Tras el análisis de los resultados de las probetas observamos lo siguiente.

- El Frente de carbonatación tiene un máximo de penetración de 20 mm y una penetración media de 15 mm. Teniendo en cuenta que el recubrimiento de los elementos de hormigón armado en esta edificación es de 10 mm, llegamos a la conclusión de que actualmente estas armaduras están despasivadas por lo tanto los procesos de corrosión están activos y el hormigón que recubre estas armaduras, carbonatado.
- En el análisis teórico llegamos a la conclusión que la armadura se despasivó a los 7 años de su construcción y la profundidad del frene de carbonatación debería ser aproximadamente 3,5 cm. Por lo tanto prácticamente el doble de la que actualmente presenta el elemento.
- El porcentaje de cloruros es del 0,014 % inferior a lo que establecen la normativa EHE 08 (0,4% peso de cemento que equivale al 0,05-0,1% peso hormigón).
- La armadura de los forjados presenta una grave pérdida de sección, esto puede deberse a distintos factores entre los que destacaremos la despasivación de la misma por los procesos de carbonatación del hormigón adyacente, la mala calidad del propio acero y otros fenómenos como el porcentaje de cloruros en la muestra, etc.

CASO III: CANAL CALZAS ANCHAS UTRERA

Se han localizado una serie de patologías en el entorno del muro colapsado (sección muro tipo 5).

El principal daño que ha aparecido en el lugar del vuelco del muro del canal, es la corrosión de las armaduras en la base del muro, la cual está muy localizada en las en las barras de las esperas de la cimentación sobre la junta entre losa y muro. (...)

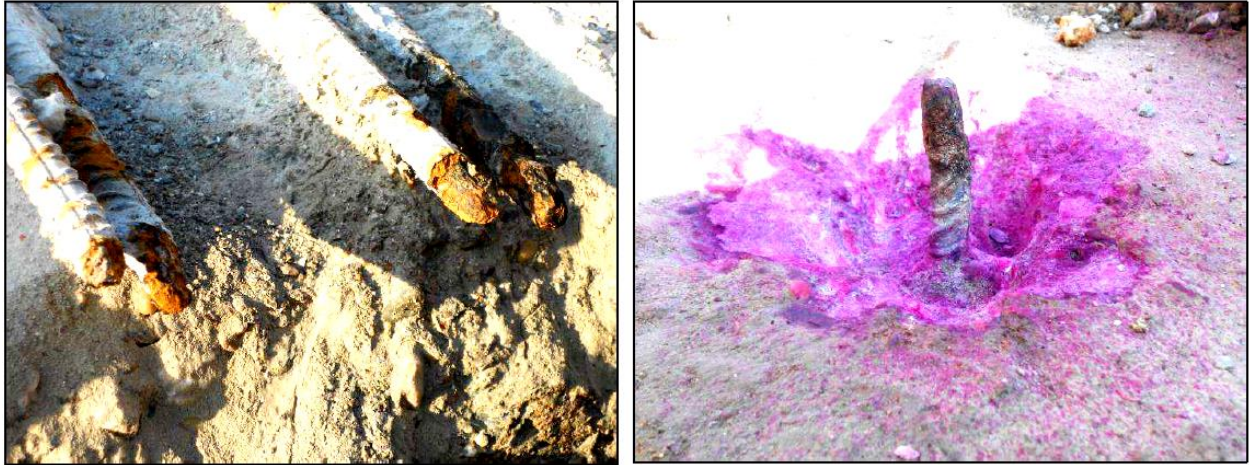


Fig. 3.75. Muestras acero. Canal Calzas Anchas, Utrera. (Fuente Vorsevi).

Por otra parte, se han efectuado catas en el muro que se encuentra frente al volcado y se ha podido constatar que estas también presentan un alto estado de corrosión incluso con pérdida de sección.

Asimismo también se aprecian numerosas filtraciones a través de los espadines ejecutados para realizar el encofrado de los muros, hay un aumento significativo en la porosidad y degradación del hormigón en estas zonas.

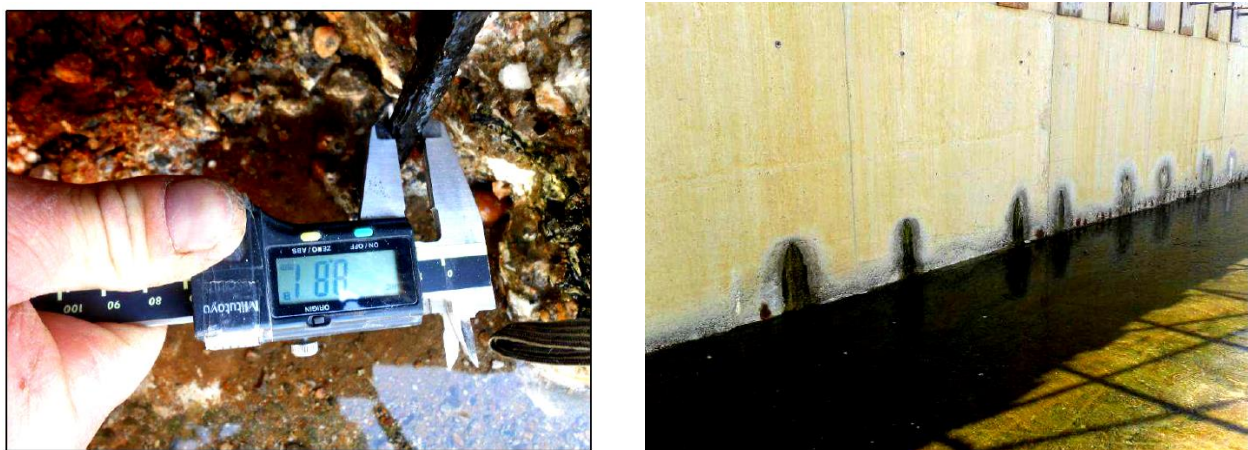


Fig. 3.76. Estudios en el Canal Calzas Anchas, Utrera. (Fuente Vorsevi).



Fig. 3.77. Muestras acero corroído en el Canal Calzas Anchas, Utrera. (Fuente Vorsevi).

Teniendo en cuenta estas anomalías se llevó a cabo una serie de actuaciones orientadas a controlar los posibles factores desencadenantes de los procesos corrosivos, para ello se determinó:

Potencial hidrógeno (pH)

El potencial hidrogeno indica la medida de la concentración de los cationes hidronios, libres en el agua. La mayoría de las sustancias tiene un pH en el rango de 0,00 a 14,00. Las soluciones acuosas con valores de pH inferiores a 7,00 son consideradas acidas, mientras que con valores de pH mayores a 7,00 son alcalinas. Se considera que un pH de 7,00 es un grado neutral. El del agua en su estado natural, esta entre 6,5 y 8,00.

Cloruros

Las sales corrosivas más importantes son los cloruros, Cl^- . Muchas aguas subterráneas contienen cloruros provenientes de procesos de contaminación. Para elementos de acero en contacto con el terreno, concentraciones de cloruros superiores a **100 mg/l** en aguas de dureza mediana pueden causar problemas de corrosión crecientes en forma exponencial de tal manera que concentraciones de iones cloruros de **1 g/l** provocan rápidamente la destrucción por corrosión de metales como el hierro y el acero inoxidable. En nuestro caso el contacto es el hormigón, si bien ante la existencia de un medio acuosa como es el base el muro (unión muro/losa), se pueden tomar estimaciones de este tipo

Sulfatos

Los sulfatos son poco corrosivos aunque intervienen en el ciclo del azufre y en sistemas anódicos pueden contribuir a la formación de ácido sulfhídrico, compuesto muy agresivo que provoca problemas de corrosión muy serios. El poder corrosivo de los sulfatos aumenta al asociarse a los cloruros, especialmente en aguas blandas, de baja alcalinidad y



que no estén saturadas de carbonato de calcio, la presencia de calcio en el agua asociada al equilibrio cálcico carbónico puede contribuir en aguas incrustantes a proteger el sistema frente a la corrosión.

Resistividad

Es conocido que al colocar acero en contacto con suelos u otros materiales, puede resultar en una continua pérdida de sección debido al efecto de la corrosión. La superficie del acero es atacada a través de la migración de iones desde su superficie, dando como resultado la reducción en el espesor de las paredes de ese cuerpo, por lo que se pierde capacidad estructural o mecánica.

Es por ello que se realizan una serie de ensayos sobre estos materiales para determinar el estado del hormigón y la armadura de los muros de contención y la losa de cimentación de esa sección del canal, además se incluirán ensayos sobre la resistividad del terreno.

ENSAYOS RESISTIVIDAD DEL TERRENO:

Los trabajos realizados tienen como objeto determinar la resistividad media del terreno a dos profundidades junto al canal. El procedimiento seguido está basado en el Método de Fr. Wenner para determinar la conductividad del terreno y consiste en analizar el campo eléctrico que se origina en un terreno cuando por él circula una corriente eléctrica. La resistividad viene definida por la ecuación siguiente:

$$\rho = \frac{4\pi a R}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}}$$

Dónde: R = Valor de resistencia obtenido en el teluometro.

a = distancia entre electrodos.

b = profundidad a la que se han clavado los electrodos

La distancia entre electrodos "a" es consecuencia de las profundidades de medida en la relación siguiente:

$$a = \frac{4}{3} \cdot h$$

Los resultados obtenidos son los siguientes:



Ubicación (Ver croquis)		e (m)	R (Ω)	Profundidad (m)	Resistividad ($\Omega \times m$)
R1	A	1.20	0.48	0'9	7,20
	B	3.60	0.12	2.70	4,97
R2	A	1.20	0.50	0'9	7,50
	B	3.60	0.13	2.70	5,38
R3	A	1.20	0.55	0'9	8,25
	B	3.60	0.15	2.70	6,21
R4	A	1.20	0.63	0'9	9,45
	B	3.60	0.09	2.70	3,72
R5	A	1.20	0.52	0'9	7,80
	B	3.60	0.11	2.70	4,55
R6	A	1.20	0.53	0'9	7,95
	B	3.60	0.10	2.70	4,14

Tabla 3.16. Valores ensayos sobre resistividad. Canal Calzas Anchas, Utrera. (Fuente Vorzevi).

En todos los casos se puede considerar que la resistividad del terreno es de baja a muy baja.

TOMA DE MUESTRAS DE MATERIALES:

Se toman por tanto 4 muestras de hormigón en la base del muro , así como del terreno adyacente al muro el cual se trata primordialmente de una arcilla, si bien la misma presenta dos tonalidades de color una marrón claro (SU-6) y otra marrón oscuro (SU-7), por tanto se han tomado 2 muestras de suelos, una muestra de la zahorra del camino y 2 muestras de agua procedentes de la escorrentía del canal (M-1) y del agua acumulada en el trasdós del muro (M-2). De esta forma se pretende acotar al posible agente agresor del elemento.

ENSAYO	PARAMETRO	HM-1	HM-2	HM-3	HM-4	ZA-5	SU-6	SU-7
Determinación de nitritos método colorimétrico según I.T.	NO ₂ (%)		0,0006	0,0001	0,0004	0,000		
Determinación de nitratos método test Dr. Lange	NO ₃ (%)		0,034	0,002	0,026	0,002		
Determinación del amonio método colorimétrico	NH ₄ (%)		0,0002	0,000	0,000	0,001		
Determinación de cloruros UNE 112010	Cl- (%)	0,274	0,97	0,646	0,232			
Determinación de sulfatos UNE-EN 1744-1. SO ₃ (%)	SO ₃ (%)	2,37	1,73	1,00	1,92			
Sulfatos (EHE-08 UNE 83963)	SO ₄ (mg/kg)						16482	0,00
Determinación pH UNE 77305	pH	10,45	9,31	11,46	10,45	9,6	8,84	8,61
Determinación de cloruros solubles en agua UNE 1744-1 Apto 7	Cl- (%)					0,00114	0,14	0,07
Determinación de sulfatos solubles en ácido UNE 1744-1 Apto 12	SO ₃ (%)					0,14		
Determinación de la densidad del hormigón endurecido UNE_EN 12350-7								



Densidad	(kg/cm ³)	2,06	2,27	2,40	2,40			
Porosidad	(%)	21,32	4,68	4,2	5,22			
Absorción	(%)	10,37	2,06	1,75	2,18			

Tabla 3.17. Valores ensayos sobre muestras. Canal Calzas Anchas Utrera. (Fuente Vorsevi).

De los datos obtenidos en las pruebas analizadas se podrían obtener información sobre el carácter agresivo de los suelos analizados. Se ha elaborado una tabla valorativa según diferentes normativas y estudios realizados para acotar las características agresivas de los suelos.

Parámetro	Cantidad	Índice
Resistividad, ρ (Ω -cm)	>12000	0
	12000-5000	-1
	5000-2000	-2
	<2000	-4
pH	>5	0
	<5	-1
Cloruros, Cl ⁻ (mg/kg)	<100	0
	100-1000	-1
	>1000	-4
Sulfatos, SO ₄ ²⁻ (mg/kg)	<200	0
	200-300	-1
	>300	-2
Clasificación del suelo		Suma
No agresivo		0
Débilmente agresivo		-1 a -8
Medianamente agresivo		-8 a -10
Sumamente agresivo		< -10

Tabla 3.18. Clasificación suelos según características de los mismos.. (Fuente Vorsevi).

En este caso para nuestras muestras de Suelo SU-6 y SU-7 tenemos los siguientes resultados:

SUELO	RESISTIVIDAD	PH	CL ⁻	SO ₄	Σ DATOS	CLASIFICACIÓN
SU-6	> 2000	>5	<100	>300	- 6	DEBILMENTE AGRESIVO
SU-7	>2000	>5	<100	0	- 4	DEBILMENTE AGRESIVO

Tabla 3.19. Valores ensayos resistividad sobre suelos. Canal Calzas Anchas Utrera. (Fuente Vorsevi).

Podemos asegurar por tanto que un suelo será corrosivo si se comporta como un electrolito activo, para ello es necesaria la presencia de humedad, de lo contrario aunque tenga sales solubles no se iniciaran los procesos corrosivos tal y como hemos estado analizando a lo largo de esta obra.

Indicar que los procesos corrosivos en este caso vienen determinados principalmente por el tipo de acero, la calidad del agua (características físicas, químicas y bactericidas), y el tipo de suelo existente.

Por tanto podemos distinguir diversos factores de vital importancia de gran influencia en los procesos corrosivos:

- 1- La porosidad del suelo, que determina la aireación y por tanto, la afluencia de oxígeno y CO₂.
- 2- Los electrolitos existentes en el suelo, que determinan su conductividad.



3- Factores eléctricos, como pueden ser la diferencia de potencial existente entre dos puntos de la superficie del metal, el contacto entre dos metales distintos y las corrientes parasitas.

4- El pH de equilibrio del agua y del terreno

5- La presencia de sales soluble.

Los análisis que se realizaron para el tipo de agua anteriormente indicado son los siguientes.

Parámetro	Norma	Resultado ensayo AGUA M-1	Resultado ensayo AGUA M-2	Tabla 8.2.3.b Agresividad química (EHE-08)		Art. 27 EHE-08
				Qb (Ataque medio)	Qc (Ataque fuerte)	
Valor del pH	UNE 83952	8,8	7,79	5,5	< 4,5	≥ 5
Magnesio (Mg ²⁺) (mg/l)	UNE 83955	62,4	475,5	1000 -3000	> 3000	
Amonio (NH ₄ ⁺) (mg/l)	UNE 83954	0	0	30 -60	> 60	
Sulfatos (SO ₄ ²⁻) (mg/l)	UNE 83956	493,5	1723	600 -3000	> 3000	≤ 1000
CO ₂ (mg/l)	UNE-EN 13577	0	0	40 -100	> 100	
Residuo seco (mg/l)	UNE 83957	2972	27580	50 - 75	< 50	≤ 15000
Cloruros (Cl) (mg/l)	UNE 7178	731	7732			≤ 3000
Dureza total	UNE 77040	74,5 °F	661,7 °F			
Nitratos (NO ₃) (mg/l)	Test de Merck	>60	42			
Nitritos (NO ₂) (mg/l)	Test de Merck	0,3	0,05			
Sulfuros (mg/l)	I.T.	499,7	1798,7			
Calcio (Ca) (mg/l)	UNE 77013	195,2	1864			

Tabla 3.20. Valores ensayos característicos del agua. Canal Calzas Anchas Utrera. (Fuente Vorsevi).

La instrucción EHE-08, con respecto a la durabilidad del hormigón, en su art. 37 indica lo siguiente:

37.3.5 Resistencia del hormigón frente al ataque por sulfatos

En el caso particular de existencia de sulfatos, el cemento deberá poseer la característica adicional de resistencia a los sulfatos, según la vigente instrucción para la recepción de cementos, siempre que su contenido sea igual o mayor que 600 mg/l en el caso de aguas, o igual o mayor que 3000 mg/kg, en el caso de suelos (excepto cuando se trate de agua de mar o el contenido en cloruros sea superior a 5000 mg/l, en que será de aplicación lo indicado en 37.3.6.

37.3.6 Resistencia del hormigón frente al ataque del agua de mar

En el caso de que un elemento estructural armado esté sometido a un ambiente que incluya una clase general del tipo IIIb ó IIIc, o bien que un elemento de hormigón en masa se encuentre sumergido o en zona de carrera de mareas, el cemento a emplear deberá tener la característica adicional de resistencia al agua de mar, según a vigente instrucción para la recepción de cemento.



Podemos observar que el agua recogida en el trasdós del muro es altamente agresiva ya que presenta una cantidad de cloruros de 7732 mg/l (> 5000 mg/l), y de 1723 mg/l de sulfatos (> 600 mg/l).

Atendiendo a la contaminación de sales que ha presentado el hormigón, teniendo en cuenta que el porcentaje de cloruros es muy superior al límite máximo prescrito por la EHE es de **0,4 %** en relación al peso de cemento (0,1-0,05 % peso hormigón) y el de sulfatos cuyo límite está en el 0,8 % del peso de cemento, se ha procedido a extraer muestras adicionales del muro numeradas de HM-8 a HM-11, con el objetivo de determinar el contenido en cloruros y sulfatos en las zonas altas de los muros, de manera que la muestra M-8 se ha tomado junto a una de las picaduras de óxido que presentaban las barras a media altura, en una de las catas que se han efectuado para observar las barras de acero en todo su recorrido en altura, las muestras HM-9, HM-10 y HM-11, se han tomado en una zona en donde no es posible físicamente tener contaminación del hormigón al no estar en contacto ni con el agua del canal ni con el terreno

Los resultados obtenidos han sido los siguientes:

ENSAYOS	PARAMETRO	HM-8	HM-9	HM-10	HM-11
Determinación de cloruros UNE 112010	Cl. (%)	0,225	0,035	0,035	0,035
Determinación de sulfatos UNE-EN 1744-1. SO ₃ (%)	SO ₃ (%)	1,06	1,02	0,73	0,74

Tabla 3.21. Valores determinación de cloruros y sulfatos de probetas extraídas. Canal Calzas Anchas Utrera. (Fuente Vorzevi).

Podemos sacar las siguientes conclusiones de los resultados obtenidos en los ensayos.

- El contenido de cloruros obtenido es muy alto teniendo en cuenta los límites que establece la instrucción EHE-08 en su Art. 37.4.1. Corrosión de las armaduras pasivas. La cual se cifra en un 0,4 % del peso total del cemento que podría asimilarse entre el 0,1 y el 0,05 % del peso del hormigón.
- Los resultados de contenidos de sulfatos en las muestras también son elevados. Analizando que la cantidad máxima de sulfatos en un hormigón sale de la suma del aporte de estos llevando todos los materiales al máximo aporte posible tendríamos que por el cemento (< 4% sobre peso del cemento), más los áridos (0,8 % en masa de árido "Art- 28.7.2. Sulfatos solubles. EHE-08"), más el aporte de agua de amasado (1 gramo por litro "Art. 27 EHE-08"), la cantidad de sulfatos máxima en porcentaje en peso sobre el hormigón se encuentra en torno a **1,2**. Por lo que podemos observar que hay 3 muestras que superan este índice máximo.
- En la muestra HM-1, nos encontramos con altos índices tanto de porosidad como de absorción y presentando una densidad sensiblemente más baja que el resto de probetas analizadas, con lo que esto nos indica un posible ataque al hormigón en esta zona.
- El resto de catas realizadas en una segunda toma de datos nos revelan, por un lado que el hormigón que no está en contacto ni con el agua ni con el suelo no presenta altos porcentajes de contaminación por sales ni cloruros ni sulfatos (muestras HM-9, HM-10, HM-11). Sin embargo la muestra HM-8 si presenta valores porcentuales de cloruros por encima de los admisibles por la normativa EHE-08, este testigo se extrajo



de una zona anexa de una de las picaduras existente en altura del muro, por tanto podemos intuir que la contaminación por cloruros es uno de los principales agentes agresores del hormigón.

- El análisis de la zorra (ZA-5) del camino anexo no presenta resultados relevantes.
- El análisis de los suelos, indica que la zona de arcillas de tonalidad marrón claro definida como (SU_6) presenta elevados índices de sulfatos (16482 SO_4 (mg/kg)) y de cloruros (0,14%).
- Según la instrucción 8.2.3.b (EHE 08), se determina para el suelo analizado, un tipo de exposición de ataque como fuerte (Qc), al superar el ion sulfato los 12.000 SO_4 (mg/kg) UNE 83963.
- La muestra HM-1, tomada en la zona de escorrentías de canal no presenta valores que puedan interpretarse como agentes agresivos contra el binomio hormigón-acero.
- La muestra HM-2 tomada en el trasdós del muro, que entendemos proviene de un remanso acumulado del agua que discurre sobre el canal (ya que no se ha detectado nivel freático en el trasdós del muro que justifique esta concentración de agua) presenta una agresividad de ataque medio (Qb) con valores altos de sulfatos, cloruros y sulfuros, así como una dureza total y residuo secos muy elevados.

Tabla 8.2.3.b. Clasificación de la agresividad química

TIPO DE MEDIO AGRESIVO	PARAMETROS	TIPO DE EXPOSICIÓN		
		Qa	Qb	Qc
		ATAQUE DÉBIL	ATAQUE MEDIO	ATAQUE FUERTE
AGUA M-2	VALOR DEL pH	6,5 - 5,5	5,5 - 4,5	< 4,5
	CO ₂ AGRESIVO (mg CO ₂ /l)	15 - 40	40 - 100	> 100
	IÓN AMONIO (mg NH ₄ ⁺ / l)	15 - 30	30 - 60	> 60
	IÓN MAGNESIO (mg Mg ²⁺ / l)	300 - 1000	1000 - 3000	> 3000
	IÓN SULFATO (mg SO ₄ ²⁻ / l)	200 - 600	600 - 3000	> 3000
	RESIDUO SECO (mg / l)	>150	50-150	<50
SUELO SU-6	GRADO DE ACIDEZ BAUMANN-GULLY	> 20	(*)	(*)
	IÓN SULFATO (mg SO ₄ ²⁻ / kg de suelo seco)	2000 - 3000	3000-12000	> 12000

Tabla 3.22. Valores determinación de cloruros y sulfatos de probetas extraídas. Canal Calzas Anchas Utrera. (Fuente Vorzevi).

- En esa tabla no aparece regulación sobre los cloruros. En el artículo nº 27 de la EHE 08 se limita el contenido en cloruros para aguas de amasado y curado de hormigones a 3000 mg/l, y como podemos observar en este caso se duplica su valor (7.732 mg/l).



- exponente de hidrógeno pH (UNE 7234)	≥ 5
- sustancias disueltas (UNE 7130)	≤ 15 gramos por litro (15.000 p.p.m)
- sulfatos, expresados en $\text{SO}_4^{=}$ (UNE 7131), excepto para el cemento SR en que se eleva este límite a 5 gramos por litro (5.000 p.p.m)	≤ 1 gramo por litro (1.000 p.p.m)
- ión cloruro, Cl^- (UNE 7178):	
a) para hormigón pretensado	≤ 1 gramo por litro (1.000 p.p.m)
b) para hormigón armado u hormigón en masa que contenga armaduras para reducir la fisuración	≤ 3 gramos por litro (3.000 p.p.m)
- hidratos de carbono (UNE 7132)	0
- sustancias orgánicas solubles en éter (UNE 7235)	≤ 15 gramos por litro (15.000 p.p.m)

- Los valores de resistividad obtenidos en campo son muy bajos, estando acorde con los valores promedio recogidos en la bibliografía para los diferentes materiales que conforman el subsuelo de la zona estudiada. Estos valores son típicos de terrenos muy arcillosos y terrenos saturados. Por lo que se puede concluir que poseen un alto potencial de conductividad eléctrica y en consecuencia, podrían en contacto directo con el acero, presentar un alto potencial de oxidación.
- La resistividad eléctrica de estos diferentes niveles medidos, es muy homogénea tanto en vertical como en horizontal, con valores algo superiores en los primeros metros de terreno que disminuyen en profundidad en función del porcentaje de material arcilloso y saturación del terreno.



3.4 ANÁLISIS DE LAS SOLUCIONES PROYECTADAS EN LOS DIFERENTES CASOS A ESTUDIO.

Se analizan las diferentes soluciones adoptadas en los proyectos de rehabilitación de cada uno de los casos que hemos comentado anteriormente, para posteriormente establecer una discusión sobre la idoneidad de las mismas y el planteamiento de nuevas soluciones que sustituyan o complementen a las que se indican en dichos proyectos.

CASO I: TORRE VIGIA CASTILLO SAN SEBASTIÁN, CÁDIZ: [83]

Diagnosis: Teniendo en cuenta el fuerte contenido de cloruros en el hormigón y el avanzado estado de deterioro en que se encuentran los diferentes elementos de hormigón amado, la capacidad resistente de estos elementos como consecuencia de la pérdida de sección, no es suficiente para hacer frente los esfuerzos de diseño.

Es difícil estimar, con precisión, la capacidad resistente de estos elementos tan fuertemente atacados por los cloruros, por lo que se hace imprescindible o bien la demolición de los mismos y su nueva construcción o bien la realización de un proyecto de protección catódica por corriente impresa en paralelo a un proyecto de reconstrucción total de la Torre, donde se vayan saneando y reponiendo las secciones de hormigón dañadas.

Por otra parte debemos indicar una serie de datos en cuanto al estado estructural de la Torre vigía:

- Actualmente, no se han observado daños que evidencien una inestabilidad en el comportamiento estructural de la Torre, lo que no supone que esos procesos puedan iniciarse a lo largo del tiempo, llevando al colapso de la estructura.
- Los daños durables observados están muy ligados a la carbonatación del hormigón, a la presencia de cloruros y a la armaduras vistas y oxidación). Condiciones que seguirán afectando a la estructura, y que a medio plazo podrían comprometer el comportamiento resistente de la estructura (por la pérdida de sección de las armaduras de los paramentos de hormigón).

En cuanto a la caracterización estructural:

Dados los resultados obtenidos en la caracterización estructural de los materiales (hormigón carbonatado dejando completamente despasivadas las armaduras, altos contenidos de cloruros tanto en el interior como en el exterior de los elementos de hormigón, bajas resistencias del hormigón, acero de bajo límite elástico) no es posible llevar a cabo una evaluación estructural realista, puesto que independientemente de que los valores resistentes de los materiales empleados teóricos no presenten mal comportamiento, los procesos durables no permiten estimar la capacidad de la sección resistente (sección resistente efectiva de la pieza), en este momento además de obligar a acometer otro tipo de actuaciones de protección para evitar la degradación del acero y en consecuencia del hormigón (protección catódica por corriente impresa).

Por tanto podemos establecer las siguientes conclusiones:

- Se puede observar que los resultados de contenido de cloruros obtenidos en los perfiles realizados en los testigos extraídos, superan ampliamente el valor límite del (0,05%-1) recomendado por la actual EHE, tanto en la parte interior como en la exterior de los elementos de hormigón. La existencia de un nivel de cloruros tan elevado provoca la existencia de procesos de corrosión puntual (pitting).



- La carbonatación del hormigón supera con creces el recubrimiento de las armaduras, quedando éstas totalmente expuestas a procesos de corrosión generalizada. El estado actual de la Torre, con armaduras vistas en un avanzado estado de corrosión y grandes áreas de hormigón exterior desprendido, son el resultado de la existencia del proceso mencionado.

Según lo anteriormente expuesto, para poder reparar la estructura actual de la Torre Vigía, se plantean dos alternativas:

1. Dada la extensión e intensidad de los daños y los resultados de la caracterización estructural, se recomienda la demolición del edificio y posterior reconstrucción.
2. Si la importancia arquitectónica y patrimonial lo requiere, se podría acometer un proyecto de reparación integral que englobara dos objetivos. En primer lugar la regeneración integral de los elementos de hormigón mediante el saneo y picados de todos sus paramentos y forjados, la pasivación de armaduras y el refuerzo consiguiente y por último la regeneración de las secciones de hormigón mediante morteros de altas prestaciones.

En segundo lugar, un proyecto que evitara la progresión de la corrosión bajo cloruros actualmente presente en todos los elementos mediante un proyecto de protección catódica por corriente impresa.

La necesidad de algún tipo de protección (protección catódica por ánodos de sacrificio o por corriente impresa) obedece a la existencia de procesos de corrosión activos (corrosión generalizada por la despasivación de las armaduras y corrosión puntual por los elevados niveles de cloruros en la masa del hormigón), siendo esta clase de actuaciones de elevado coste de instalación y mantenimiento.

Dado el diagnóstico de todos los elementos estructurales se proyectan las siguientes actuaciones relativas a la rehabilitación:

- **Pilares y muros:** En base al análisis de cada uno de las fases generales del proceso de rehabilitación por el que pasará el edificio, se llega a la conclusión generaliza que todos los elementos portantes principales se encuentran comprimidos y no superan los límites preestablecidos por los análisis realizados a las catas de materiales.

Actuación: Se aplicarán procesos de saneado y restitución de armaduras y morteros, así como procesos de pasivación de armaduras y revestimientos anticarbonatación y anti-corrosión por cloruros.

- **Forjados:** Tras las inspecciones visuales y las catas realizadas, se decide dado el manifiesto grado de corrosión de armaduras y carbonatación de hormigones, la demolición completa de los forjados de las plantas segunda, tercera y cuarta, así como la subestructura mixta del castillete del edificio.

Actuación: Demolición y reposición de elementos estructurales horizontales de acuerdo a su nuevo uso y dimensionados, comprobados y ejecutados bajo criterios normativos actuales.

- **Vigas voladizo:** Tras las inspecciones visuales y las catas realizadas se decide, dado el buen estado de conservación de los materiales que las componen, y tras realizar un estudio de armados y esfuerzos actuantes, el refuerzo de las mismas mediante recrido de la sección aprovechando la demolición de la losa superior existente.

Actuación: Demolición de losa superior, picado de viga actual, rearmado de sección y hormigonado con hormigón de planta en fase de hormigonado de losa de planta cuarta.

• **Vigas convencionales:** En base a los mismos análisis realizados para los elementos portantes de cada una de las fases generales del proceso de rehabilitación por el que pasará el edificio, se llega a la conclusión generaliza los elementos secundarios arriostrantes no se encuentran excesivamente tensionados ni solicitados.

Actuación: Se aplicarán procesos de saneado y restitución de armaduras y morteros, así como procesos de pasivación de armaduras y revestimientos anticarbonatación y anti-corrosión por cloruros.

Se desarrollaran las siguientes fases para la rehabilitación y reconstrucción de la Torre Vigía.

ESTADO INICIAL.

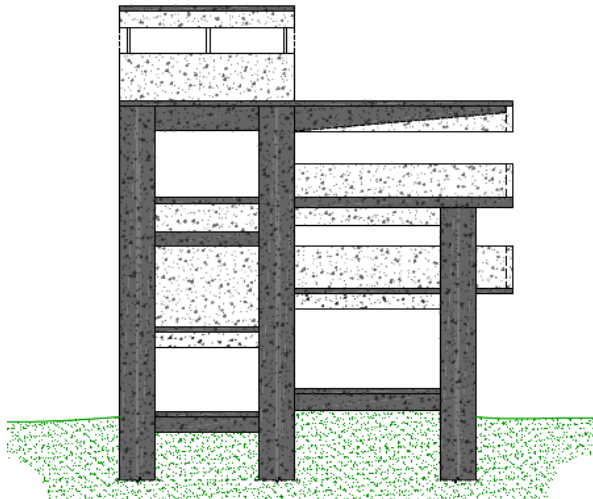
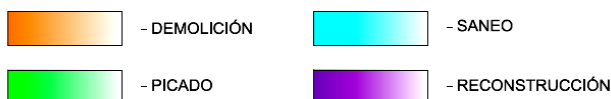


Fig. 3.78. Estado Inicial Rehabilitación Torre Vigía. Castillo San Sebastián. Cádiz. (Fuente: Ayesa). [85]

Diagrama de actuaciones según colores.



FASE I: Se realizan las siguientes actuaciones iniciales:



Fig. 3.79. Fase I Rehabilitación Torre Vigía. Castillo San Sebastián. Cádiz. (Fuente: Ayesa). [85]

Las actuaciones que se desarrollan en esa fase serán las siguientes

- Saneamiento de solera de planta primera, con eliminación de pavimento, picado superficial y limpieza.
- Refuerzo de solera de la planta primera, con capa de compresión de 5 cm de HA-30 y mallazo de reparto $\phi 8 \# 20 \times 20$.
- Apuntalado de losas de todos los niveles.
- Demolición de vigas de cuelgue de castillete.
- Demolición de cerramientos del castillete.
- Demolición del relleno de la losa de cuarta planta.

FASE II:

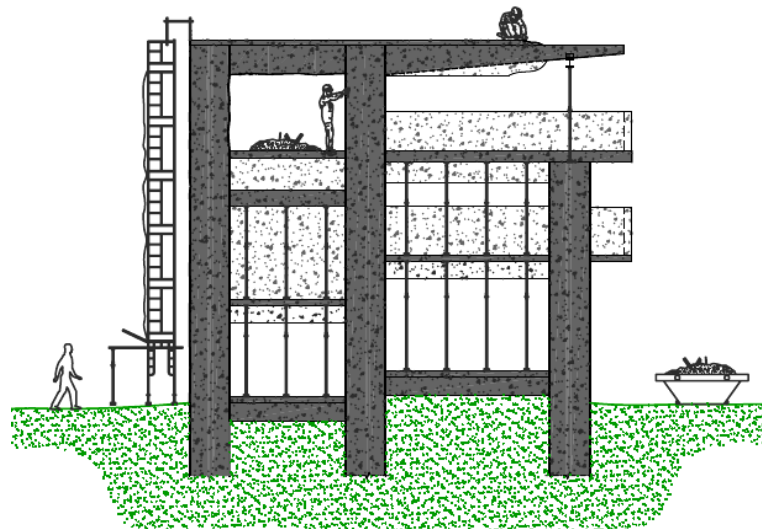
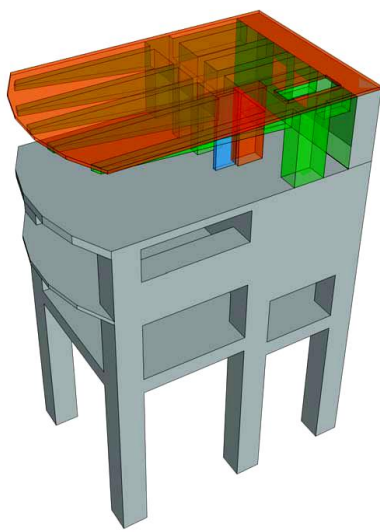


Fig. 3.80. Fase II. Rehabilitación Torre Vigía. Castillo San Sebastián. Cádiz. (Fuente: Ayesa) [85]

- Demolición de petos superiores de planta tercera.
- Demolición de losa de planta cuarta.
- Demolición de petos inferiores de planta tercera.
- Demolición de cerramientos de planta tercera.
- Auscultación / picado de muros, pilares y vigas de planta tercera.
- Reconstrucción del pilar P4-3.
- Demolición del pilar P4-2.

FASE III:

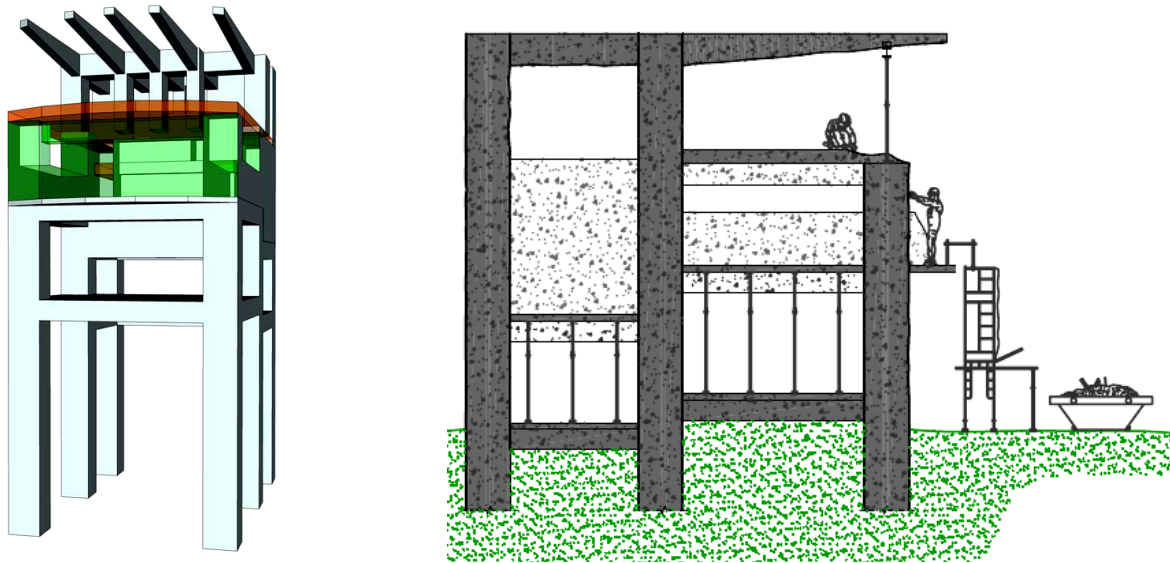


Fig. 3.81. Fase III. Rehabilitación Torre Vigía. Castillo San Sebastián. Cádiz. (Fuente: Ayesa). [85]

- Demolición de losa y losas dobles de planta tercera.
- Demolición de petos inferiores y cerramientos de la planta segunda.
- Auscultación / picado de muros, pilares y vigas de planta segunda.

FASE IV:

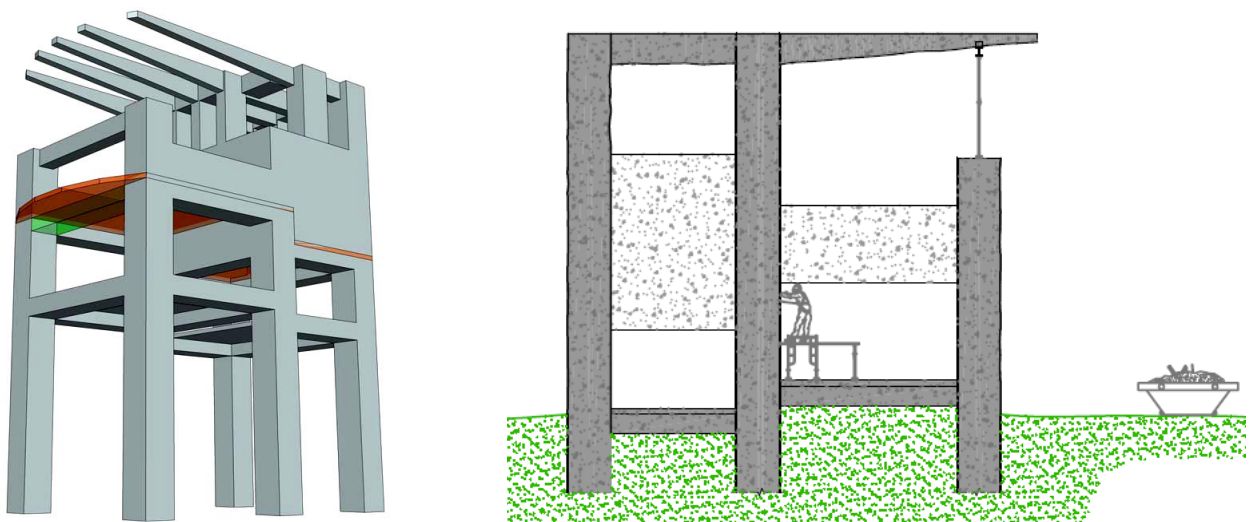


Fig. 3.82. Fase IV. Rehabilitación Torre Vigía. Castillo San Sebastián. Cádiz. (Fuente: Ayesa). [85]

- Demolición de losa de planta segunda.
- Auscultación / picado de vigas de planta primera.

- Demolición de cerramientos de planta primera.

FASE V:

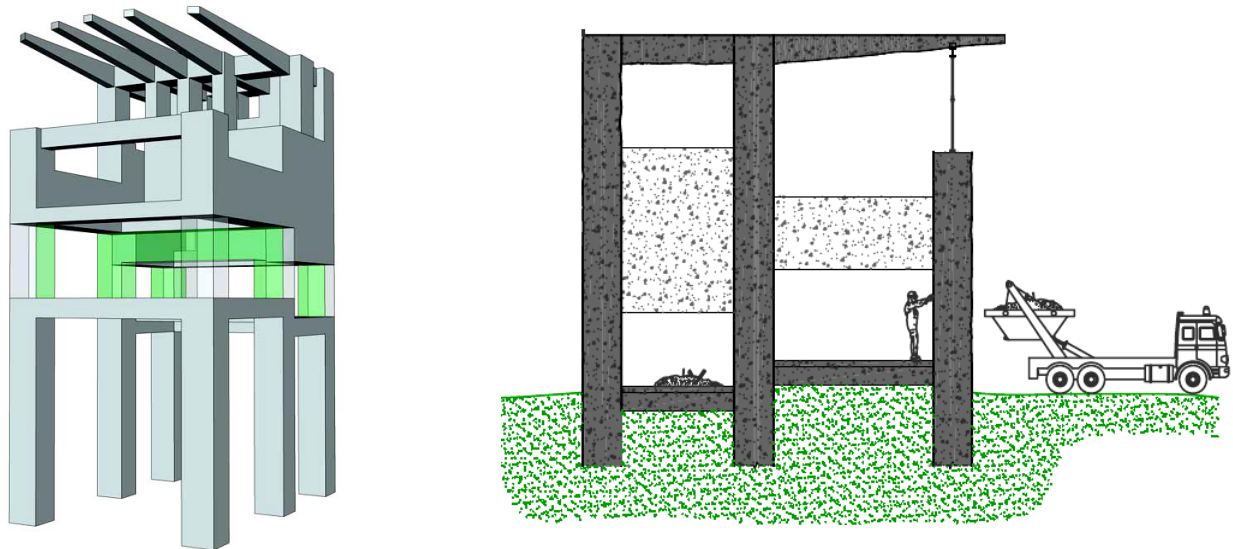


Fig. 3.83. Fase V. Rehabilitación Torre Vigía. Castillo San Sebastián. Cádiz. (Fuente: Ayesa). [85]

- Auscultación / picado de muros y pilares de planta primera.

FASE VI:

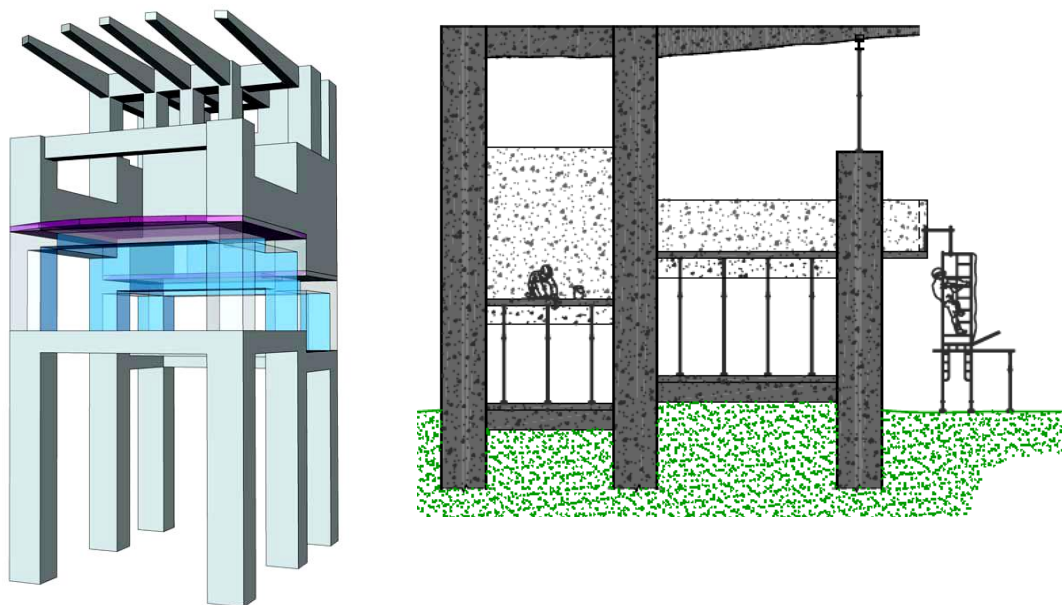


Fig. 3.84. Fase VI. Rehabilitación Torre Vigía. Castillo San Sebastián. Cádiz. (Fuente: Ayesa). [85]

- Saneo de muros y pilares de planta primera.

- Apuntalamiento / cimbrado de planta segunda.

- Reconstrucción de losa de planta segunda.

FASE VII:

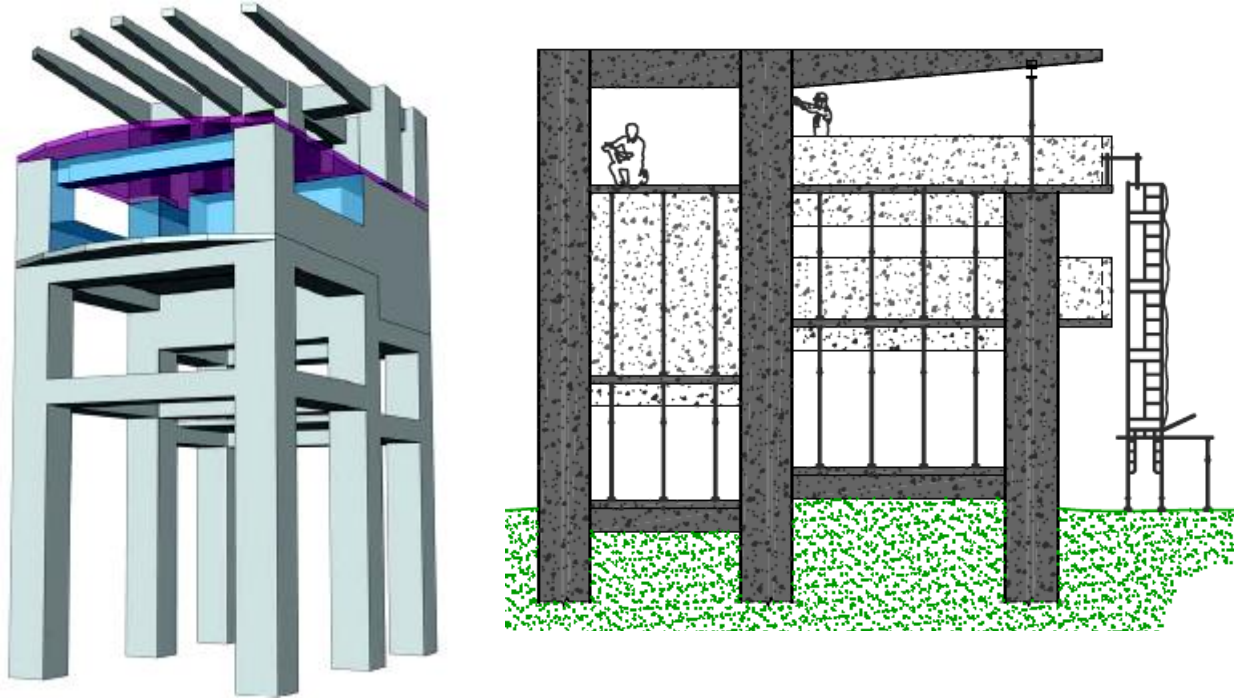


Fig. 3.85. Fase VII. Rehabilitación Torre Vigía. Castillo San Sebastián. Cádiz. (Fuente: Ayesa). [85]

- Saneamiento de muros y pilares de planta primera.
- Apuntalamiento / cimbrado de planta segunda.
- Reconstrucción de losa de planta segunda.

FASE VIII:

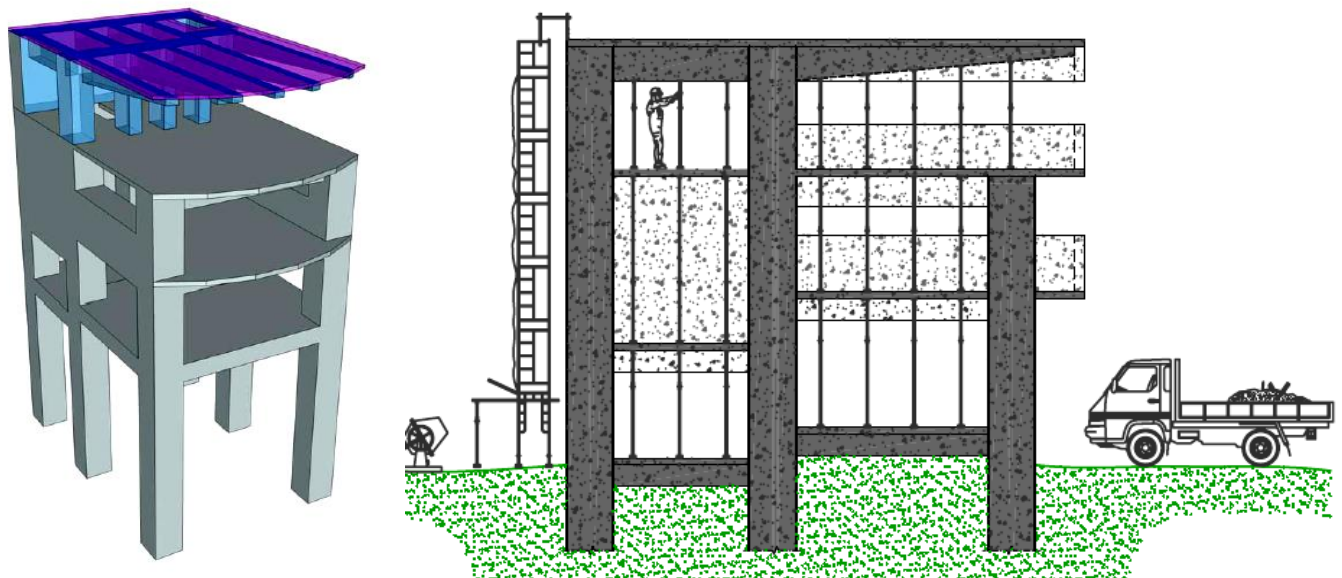


Fig. 3.86. Fase VIII. Rehabilitación Torre Vigía. Castillo San Sebastián. Cádiz. (Fuente: Ayesa). [85]

- Saneo de muros, pilares y vigas de planta tercera.
- Apuntalamiento / cimbrado de planta cuarta.
- Reconstrucción de losa de planta cuarta.

FASE IX:

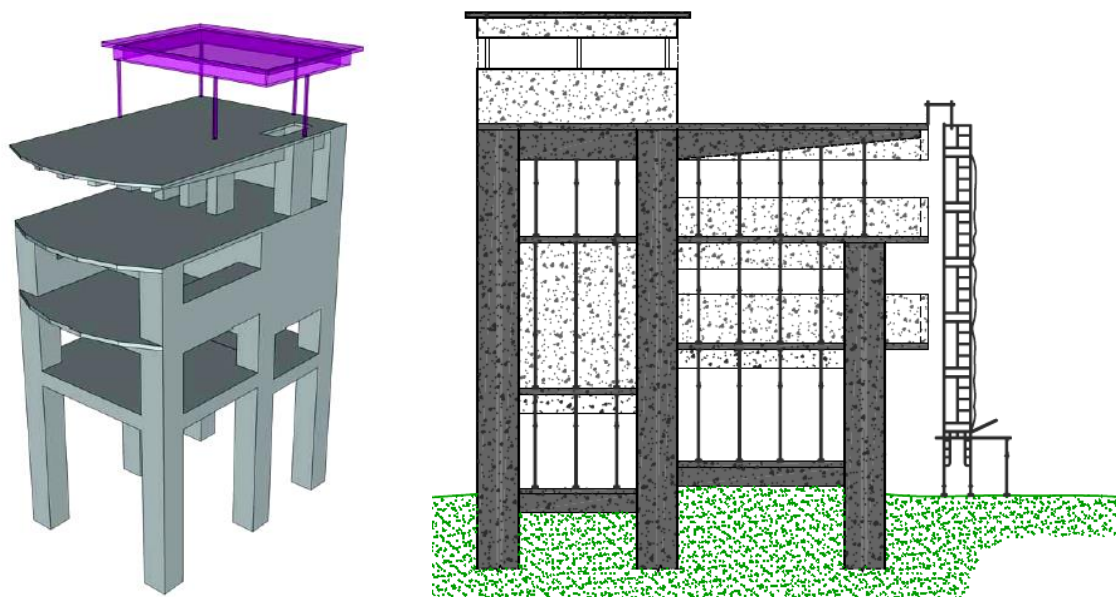


Fig. 3.87. Fase IX. Rehabilitación Torre Vigía. Castillo San Sebastián. Cádiz. (Fuente: Ayesa). [85]

- Reconstrucción de pilares metálicos del castillete.
- Reconstrucción de vigas de cuelgue y losa del castillete.
- Reconstrucción de cerramientos del castillete

FASE X:

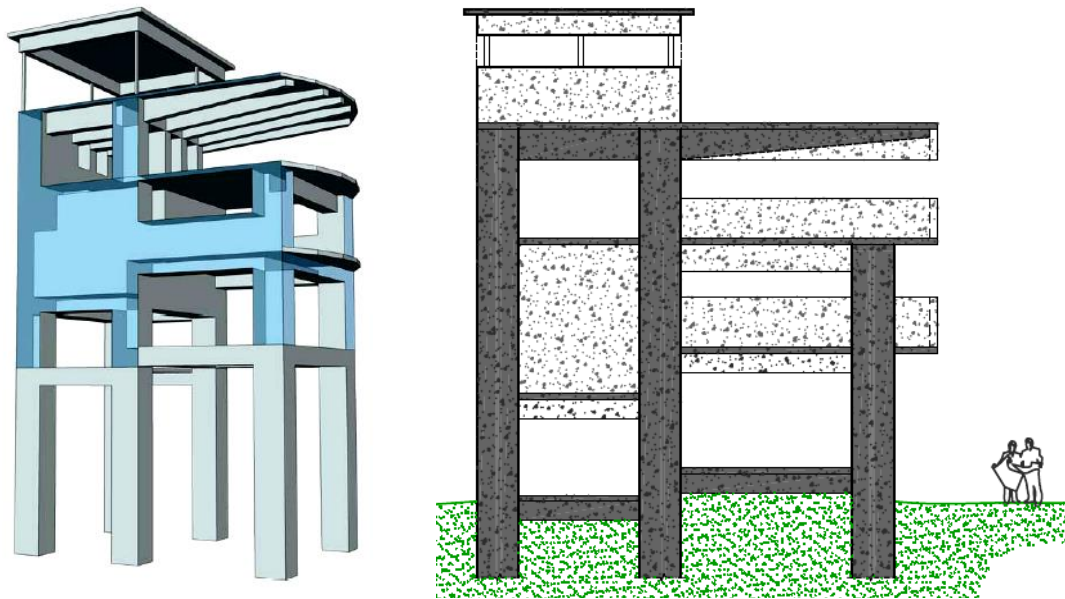


Fig. 3.88. Fase X. Rehabilitación Torre Vigía. Castillo San Sebastián. Cádiz. (Fuente: Ayesa) [85]

- Picado, pasivación y saneo de todas la fachadas.
- Retirada de puntales de las losas reconstruidas.

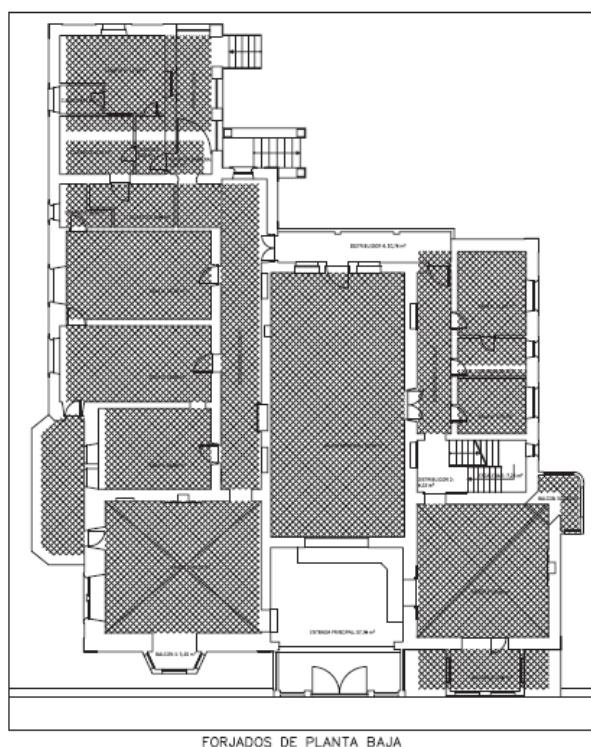
CASO II: VILLA EL CASTILLITO SANLUCAR DE BARRAMEDA, CÁDIZ: [86]

Diagnos: El edificio se encuentra en estado de abandono, presentando graves problemas estructurales en los elementos horizontales (forjados) que se hacen patentes a simple vista, con pérdidas del recubrimiento de la armadura en las vigas y forjados de hormigón armado. Permanece apuntalado prácticamente en su totalidad, por lo que se hace necesario una intervención, estimándose como la más conveniente la consistente en reemplazar los forjados existentes por otros de nueva factura, ya que rehabilitar los existentes no se considera una opción viable debido a su estado.

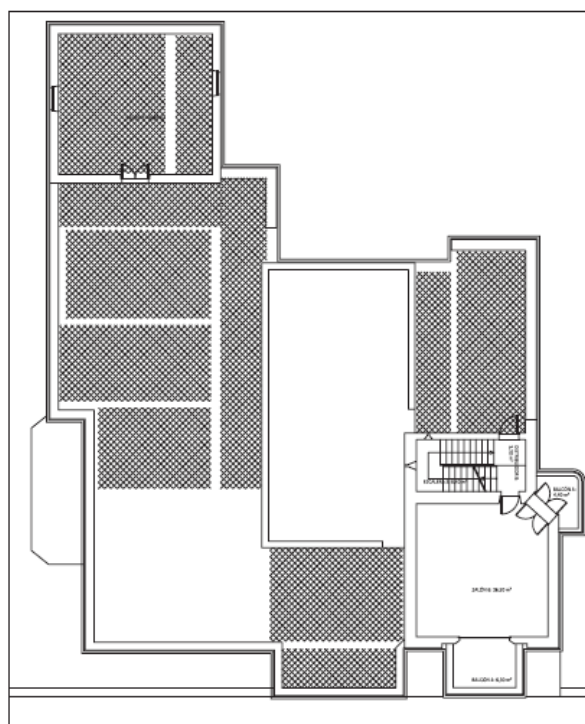
Actuaciones: Se procederá a la demolición de aquellos forjados que se encuentren en un estado de conservación muy deficiente, a punto del colapso. Para ello se ejecutará por fases el trabajo de demolición, procediendo en primer lugar al apuntalado de toda la estructura. Se comenzarán a demoler los forjados establecidos por el proyecto, de arriba abajo del edificio, en sentido inverso al de su construcción.

Solo se conservarán de la estructura actual la bóveda de cañón del Salón Principal y las bóvedas de crucería de los Salones 1 y 2, todos en la Planta Baja del inmueble. También se procederá a la demolición del forjado de viguetas de HA existente sobre los Cuartos 3, 4, 5 y 6 de la Planta Baja igualmente, ya que aunque es de reciente factura, su incorrecta ejecución ha provocado que los muros superiores de carga se hayan debilitado y presenten grietas debidas a un posible vuelco de dichos muros.

Una vez realizados los trabajos previos y demoliciones, se procederá a la ejecución de los nuevos forjados así como la reparación de las bóvedas que se mantienen.



FORJADOS DE PLANTA BAJA



FORJADOS DE PLANTA PRIMERA

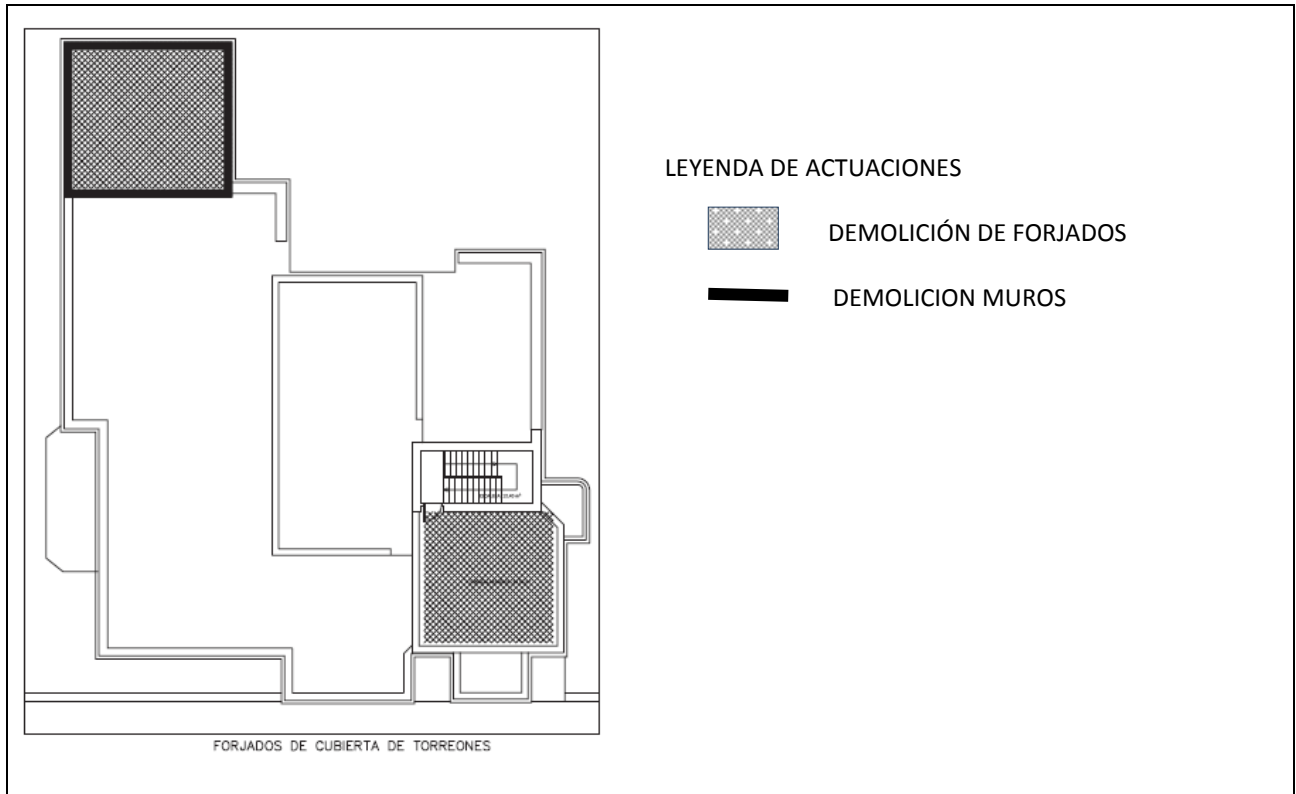
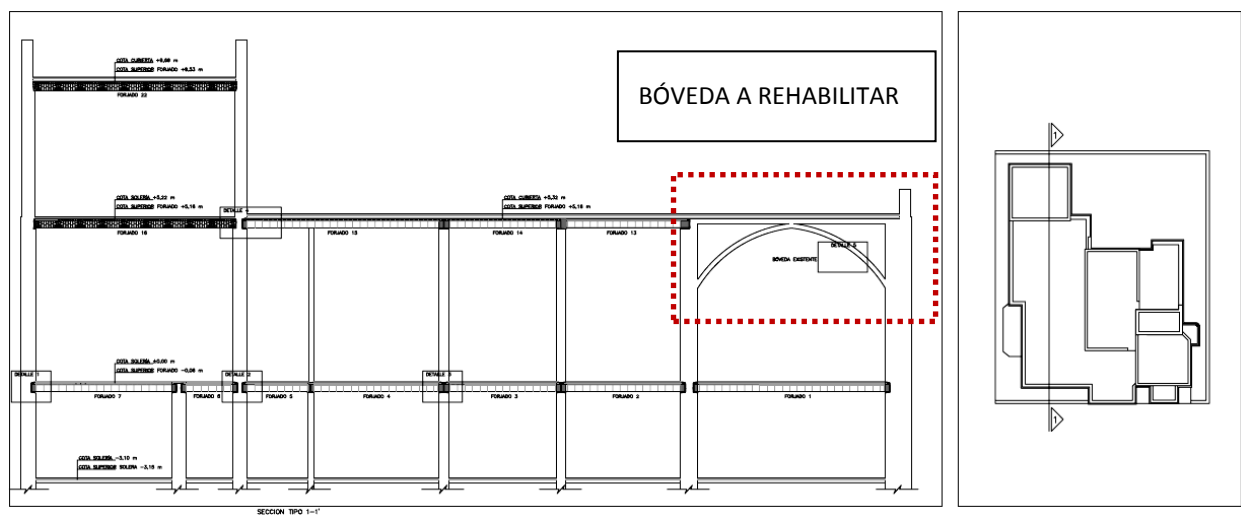


Fig. 3.89. Planos Demoliciones forjados. Villa el Castillito. Sanlúcar de Barrameda. Cádiz. (Fuente: Tragsatec)[86]

Las bóvedas, aunque estas también presentan síntomas de corrosión en las armaduras, se mantendrán en su estado actual realizándose una limpieza de las zonas afectadas por la corrosión y la aplicación de morteros especiales para la reparación de las mismas.



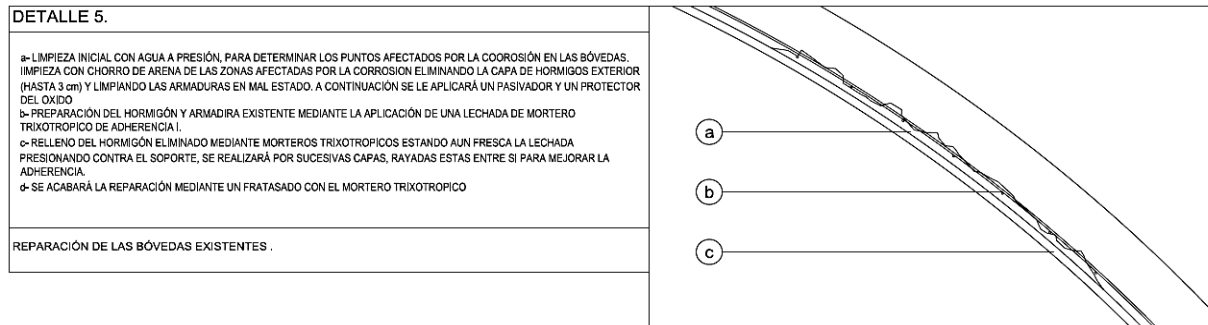


Fig. 3.90. Detalle reparación bóvedas hormigón armado. Villa el Castillito. Sanlúcar de Barrameda. Cádiz. (Fuente: Tragsatec) [86]

Con esta serie de actuaciones se pretenden paliar los defectos estructurales como consecuencia de la carbonatación del hormigón y por lo tanto la corrosión de las armaduras, debido al descenso del pH alcalino alrededor de las armaduras, tras la difusión del CO_2 atmosférico a través de la red de poros del hormigón.



CASO III: CANAL CALZAS ANCHAS, UTRERA: [90]

Diagnosis: El primer informe elaborado por la empresa Vorsevi detecta un alto grado de concentración de cloruros en las muestras de hormigón así como de sulfatos (algo menor pero fuera de las tolerancias indicadas por las normativas), en un segundo informe se detecta que las muestras de hormigón que no están en contacto con las zonas afectadas, no presentan contaminación por cloruros ni sulfatos.

Así, se analizan las posibles causas que han podido provocar esa elevada corrosión en las armaduras en diferentes puntos del canal. Se estudian diferentes opciones de posibles focos contaminantes que hayan podido aportar al agua ese elevado porcentaje de cloruros. Estos serían:[90]

- Origen Agrícola. Se podría prever que la alta concentración de cloruros y sulfatos estuviera provocada por algún producto químico que se esté utilizando para los riesgos de la zona. Se observa que en la gran mayoría del trazado del canal, hay terrenos de cultivo de varia índole y naturaleza. Normalmente los productos añadidos al riego agrícola suelen ser fosfatos y nitratos, y si el suelo lo requiriere, suelen usarse en contadas ocasiones sulfatos. Pero prácticamente nunca se usan cloruros, por lo que esimamos la alta concentración de este elemento raramente se producirá por adición de productos en el riego de los cultivos, y por tanto no se considera que esta pueda ser la causa de las patologías que sufren los muros y la losa de hormigón del canal.

- Origen industria aceitunera. Existe la posibilidad de que el agua que se esté filtrando desde el terreno hacia el canal provenga en ocasionas contaminada con cloruros, que puedan proceder de alguna balsa abandonada (o no), que se haya estado utilizando para el curado en salmuera de la aceituna, donde se produce la fermentación parcial o completa de la misma. En la carretera de Utrera-Los Palacios (km 3,5) existe la fábrica aceitunera AGROACEITUNERA. Esta se encuentra en una zona aguas abajo del canal, a una distancia de éste de unos 1.300metros. Por ello, parece difícil que la contaminación con cloruros pueda deberse a esta industria.

- Análisis en EDAR. Existe una EDAR en Utrera, ubicada junto a la carretera A-362 Utrera-Los Palacios También podría ser conveniente estudiar la calidad del agua que llega a la EDAR de Utrera, ubicada junto a la carretera A-362 Utrera-Los Palacios. Se ha constatado que el agua que vierte la EDAR al canal, lo realiza aguas abajo a donde se ha localizado el problema, por lo que se podría descartar también esta posible causa.

- Arroyo Salado de Morón. Igualmente, se ha constatado que a unos kilómetros del canal se ubica el arroyo Salado de Morón, que muestra una salinidad apreciable, pero además de que está bastante distante, incluso pertenece a otra cuenca. Es por ello que se puede descartar que sean esas aguas las que están contaminando al canal. Además, se entiende que dicho arroyo no puede tener un nivel tan alto de cloruros como para producir el grado de corrosión que ha sufrido el canal.

- Calidad del agua. También se ha consultado la Red de Calidad de las Aguas (DMA) donde, como su propio nombre indica, se facilitan la calidad de las aguas de la zona. Existe una red de estaciones donde se analizan tanto las aguas superficiales como las subterráneas. Se han estudiado los datos de la estación 51700 (la más cercana al canal y que analiza las aguas subterráneas) y ninguno muestra un contenido en cloruros tan alto como para producir dicha



corrosión (desde 208 mg/l hasta 647,41 mg/l). Sí se pueden apreciar contenidos en sulfatos entre 200 y 300 mg/l, que se corresponde según la EHE-08 con un ataque débil, acordes a los reflejados por la muestra HM1 del informe que ha elaborado Vorsevi (ver anejos). No obstante no parece que pueda ser la causa de la elevada corrosión sufrida.

- Polideportivo. Se ha comprobado que existe un polideportivo (zona polideportiva Vistalegre) cerca del P.K. 1+300 del canal (obra de paso 4) y que posee una piscina cubierta. Durante la obra se desvió el saneamiento que provenía de dicho complejo (red unitaria) cruzando el canal a través de la losa superior de la misma obra de paso y conectando con la red de saneamiento más abajo. En principio no se detecta que exista ningún vertido al canal proveniente del complejo ni tampoco de las piscinas que pudiesen contener altos contenidos de cloro.

- Vertido al canal en pk 0+650. No muy lejos de esa zona y aguas arriba, sobre el P.K. 0+650 aproximadamente, existe un tubo de 500 mm de diámetro que está vertiendo actualmente agua al canal. Se ha constatado que ese tubo vierte agua recogida superficialmente, y que es propiedad de la CHG, por lo que en principio no puede ser el causante del vertido contaminante como tal.

- Drenaje profundo. Se han comparado las zonas en las que se ha colocado drenaje profundo en el trasdós de los muros en su construcción, con las zonas donde ha aparecido la corrosión. Desde el inicio al P.K. 0+500 aproximadamente, es cierto que en esa zona del canal donde se colocó drenaje profundo no han aparecido manchas de corrosión, lo que podría llevar a pensar que gracias a este drenaje profundo se han podido evitar. Sin embargo, en el tramo del canal que discurre desde el P.K. 3+360 hasta el P.K. 3+510 aproximadamente, también se colocó drenaje profundo y la corrosión existe, por lo que la correlación entre una situación y otra no es tan clara. Se puede pensar que al inicio del canal el agua contaminada no llegaba al propio canal por el drenaje profundo y por ello no aparecen manchas de corrosión, aunque bien es cierto que por las barras divisorias que sujetaban las dos caras de los encofrados sí que entraría al interior del canal. Aguas abajo, como ya no existe el drenaje profundo, esa agua entra al canal sobre todo por dichas barras divisorias y también algo por la junta entre la solera y el hastial, produciendo corrosión en las armaduras. Una vez que el agua contaminada ha entrado en el canal, aguas abajo ya se produce la corrosión, siendo indiferente que en la parte final vuelva a existir drenaje profundo, puesto que el agua ya viene con exceso de cloruros por el propio canal. Sea como fuere, la relación entre drenaje profundo y ausencia de corrosión no parece muy directa al respecto.

- Vertidos directos al canal. Igualmente, es posible que en determinadas épocas del año, de todos los tubos procedentes de diferentes fincas o servicios que vierten al canal, algunos puedan traer agua con exceso de cloruros, pero no es fácil determinarlo solamente con tomas de muestras sin realizar una labor de investigación y relación con los propietarios.

- Otras fábricas. Se han analizado y descartado otros posibles focos contaminantes como pueden ser fábricas de yesos y granjas avícolas que existen por la zona aunque localizadas demasiado lejos del canal como para que sean el origen de la contaminación.



Sea como fuere, si consideramos que la unión entre la losa y el muro fue una junta de hormigonado y, por tanto una junta fría, teniendo en cuenta que el hormigón nunca es estanco ya que tiene en su interior burbujas de aire, asumiendo que en unas estructuras de estas índoles, las fisuras de retracción son normales. Se concluye que el hormigón nunca puede ser impermeable al agua, más aún en secciones que se hormigonaron en dos fases distintas y en una sección que, durante el hormigonado, no es posible vibrar perfectamente. Si a ello le añadimos que las partes inferiores de los paramentos exteriores de los muros presentan una erosión de la lechada de cemento, el paso de agua y aire a través del muro está garantizado.

Así pues, debido a que no se tiene una certeza clara de cuál ha podido ser el origen del agua que venía con esa cantidad de cloruros, no se podrá determinar si se van a producir nuevas afecciones o no al canal.

Incluso no se podrá definir con seguridad qué zonas del canal sufrirán mayor o menor corrosión en un futuro. De hecho, una vez que el agua llegue al trasdós y se filtre al canal por las barras divídables y algo por la junta existente entre la solera y el hastial, cualquier punto aguas abajo de esa filtración ya puede sufrir la corrosión debido a los cloruros. Es por esto que la solución se deberá adoptar para toda la longitud del canal.

Además de lo anterior, quisiéramos destacar que la colocación de suelo granular en el relleno del trasdós de los muros del canal actúa como dren para las aguas de lluvia y facilita el flujo de dichas aguas hacia las partes inferiores del muro.

El paso del agua y de la humedad podría considerarse posible en cualquier hormigón, pero para desencadenar la corrosión es necesaria la presencia de dos factores: ataque químico que puede proceder de aguas agresivas y la presencia de oxígeno. En este caso se puede aseverar que la agresividad de las aguas es la única causa de la corrosión que se está produciendo en las armaduras de los muros. Por lo tanto, es necesario calcular unos refuerzos para todo el canal, refuerzos que se pueden llevar a cabo actuando en la parte interior del canal y utilizando los paramentos de los muros exteriores como encofrados para posibles actuaciones en el interior del canal.

Se plantea una solución estructural definitiva que resuelva el problema de la corrosión en el canal. Consiste en el recrecido de la solera del canal (armada con un mallazo y colocando conectores a la losa existente), ejecutando sendas cartelas en los extremos, además del apuntalamiento de los muros mediante vigas prefabricadas empotradas sobre la coronación de los mismos. Las vigas tienen unas dimensiones de 40 x 40 cm excepto en el tramo comprendido entre los PP.KK. 2+151 y 2+749 (sección ST-5 PMOD) donde la anchura de la viga se reduce a 30 cm. Esta solución, además de resolver los problemas de corrosión y posibles desplomes, también respeta la sección hidráulica existente dejando un resguardo necesario a la misma, y por tanto facilita la posibilidad de un futuro soterramiento del canal.

Hay que destacar que esta solución estructural permite igualmente el hecho de que un futuro se pudiese seguir produciendo la corrosión que afecta a las armaduras en la zona de la junta. Estructuralmente no es necesaria la armadura existente en esa zona de la junta.

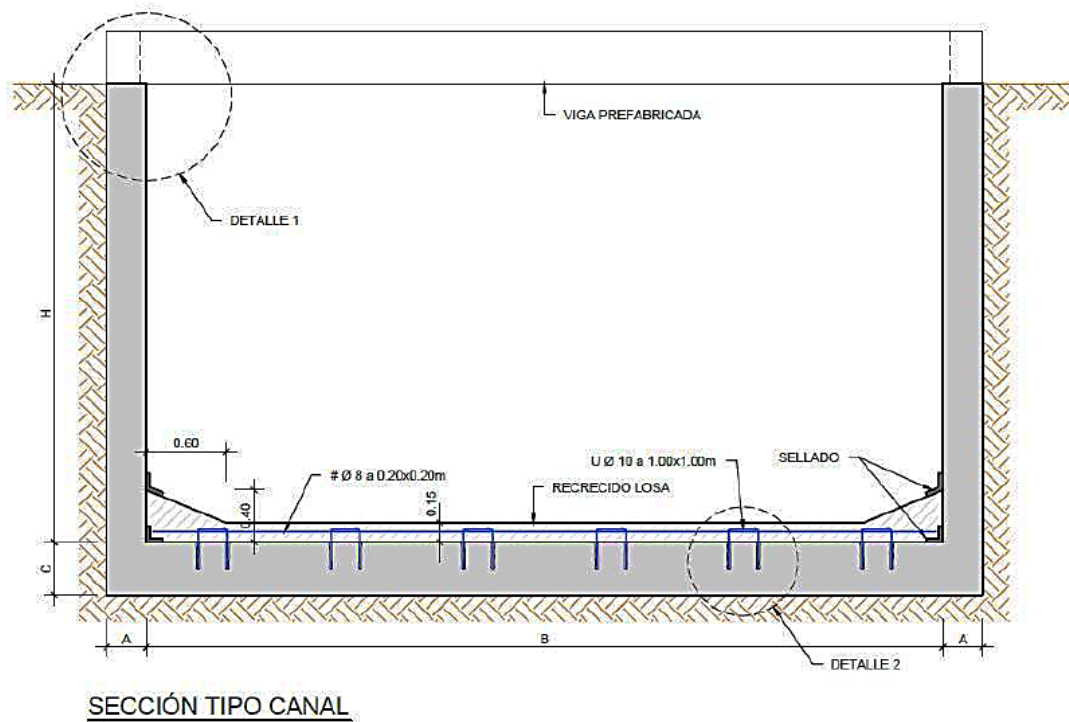


Fig. 3.91. Sección tipo reparación estructural. Canal Calzas Anchas. Utrera (Sevilla). [90]

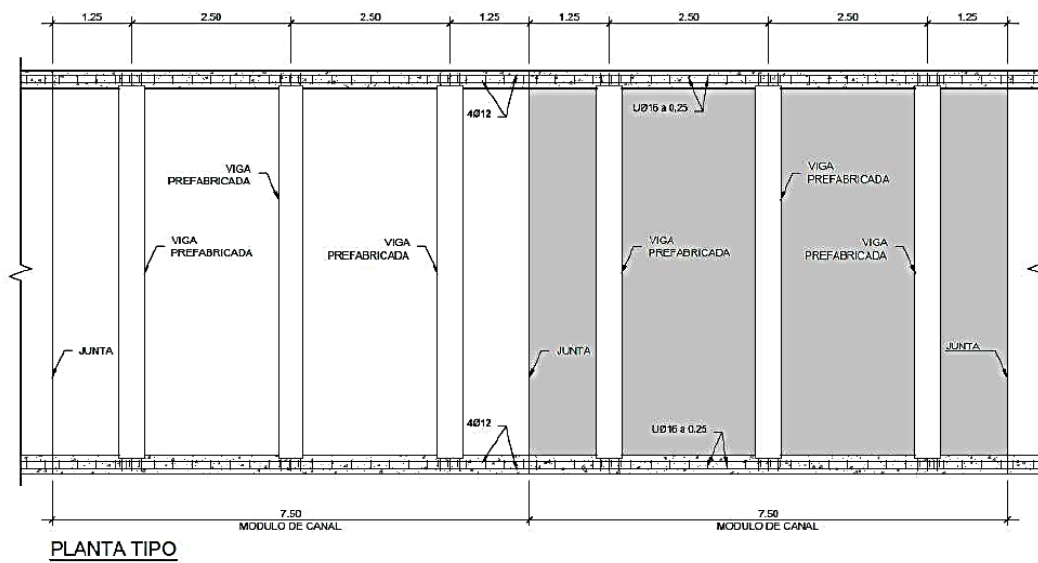


Fig. 3.92. Planta tipo reparación estructural. Canal Calzas Anchas. Utrera (Sevilla). [90]

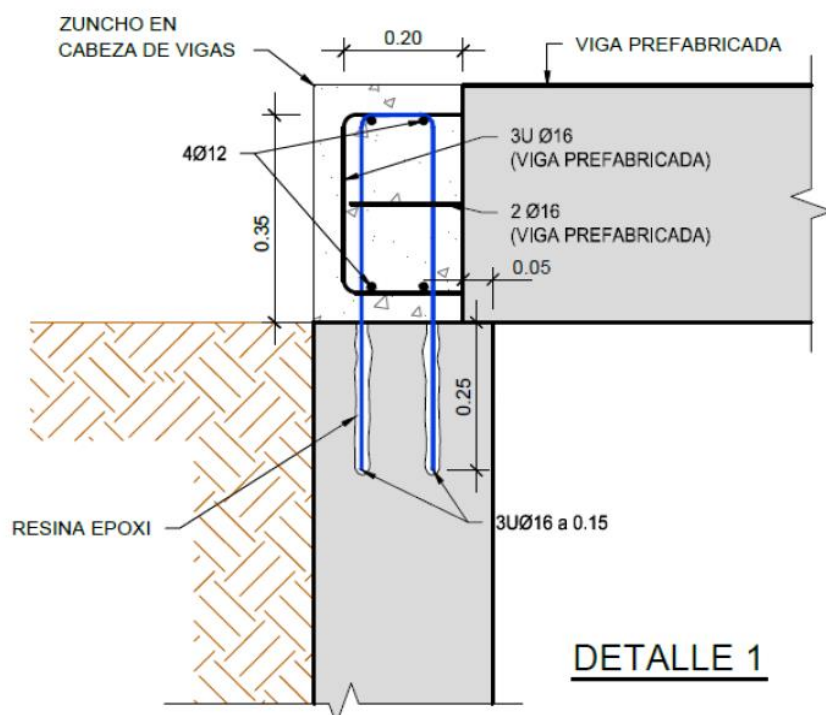


Fig. 3.93. Sección unión viga arrostramiento con muro. Canal Calzas Anchas. Utrera (Sevilla). [90]

En cuanto a la posible afección de los cloruros y sulfatos al hormigón, visualmente se ha comprobado que el hormigón está sano en prácticamente la totalidad del canal, viéndose afectado solamente por la corrosión que sufren las armaduras en la zona de la junta, entre la solera y el hastial de una forma muy localizada. De hecho, de las 8 muestras que ha tomado el laboratorio Vorsevi al hormigón (4 en zonas donde existe corrosión y 4 en zonas sanas) solamente una de las tomadas junto a las armaduras con corrosión muestra cierto deterioro de las características del hormigón. No obstante, al igual que se ha indicado para las armaduras, el posible daño que pueda recibir el hormigón de esa zona no afectaría al funcionamiento estructural del canal porque no es necesaria su colaboración estructural. Además, hay que añadir que se va a proteger esa zona con la nueva losa de hormigón que se extenderá sobre la solera antigua, con la formación de las cartelas en los extremos junto a los hastiales.

Paralelamente se realiza el estudio hidráulico sobre la influencia que la solución planteada puede tener sobre la sección hidráulica del canal para comprobar su viabilidad en ese sentido. En un principio se planteaban dos soluciones que consistían en:

- 1) Recrecido de la solera y el apuntalamiento con vigas sobre la coronación.
- 2) Recrecido de la solera y el apuntalamiento con vigas empotradas en los hastiales a la altura de la coronación.

En principio, además de la sección hidráulica necesaria para la avenida de $T=500$ años, el proyecto del canal contemplaba un resguardo de 60 cm. Teniendo en cuenta que el recrecido de la solera estimado sería de 15 cm (ejecutando cartelas en los extremos), y que el canto de la viga en ambas soluciones se plantea de 40 cm, se estudió



si desde el punto de vista hidráulico ambas soluciones eran factibles. Finalmente, como también se plantea la posibilidad de poder soterrar el canal en un futuro y se debe habilitar una cámara de aire en el mismo para que el agua pueda circular sin problema, se ha decidido optar por la solución de colocar las vigas sobre los muros, y así dejar un resguardo al canal de unos 35-40 cm. Respecto a la parte inferior de la solera del canal, zona que queda no visible, se debe tener en cuenta el resguardo que suponen los 10 cms de hormigón de limpieza que en su día se ejecutaron en la fase de obra, lo cual asegura que el recubrimiento en esa zona hasta las armaduras es suficiente para evitar posibles problemas de corrosión.

Por último comentar que si en un futuro se decidiese por algún motivo excavar en el trasdós del muro (por conservación, para la colocación de un tubo, etc...), debido a los apuntalamientos colocados existe riesgo más que evidente de que el empuje de tierras de la otra margen se transmita por los puntales y desplace el muro hacia el trasdós excavado. Es por ello que cuando se quiera proceder a cualquier excavación en algún trasdós se deberá realizar por bataches y paralelamente se deberá excavar igualmente en la otra margen, para evitar empujes no deseados.

Igualmente, si el canal discurriese lleno de agua, tampoco se podría excavar en ninguno de los dos trasdoses (ni siquiera en ambos a la vez) porque en la zona junto a la solera se desplazaría el correspondiente hastial hacia el exterior excavado.

3.5 DISCUSIÓN SOBRE LAS SOLUCIONES ADOPTADAS Y ALTERNATIVAS

Una vez analizados los diferentes datos obtenidos de los tres casos a estudio, que hemos presentado a lo largo de esta tesis, vamos a confrontar los mismos para poder establecer una serie de pautas de actuación en todo proceso corrosivo, y así posteriormente generar una serie de medidas a la hora de corregir o atenuar estos procesos corrosivos que las degradan.

Para ello vamos a evaluar los principales agentes actuantes en este tipo de agresiones.

a) CARBONATACIÓN DEL HORMIGÓN

Actualmente existe un modelo teórico de cálculo del avance del frente de Carbonatación, que previamente hemos analizado, y que vamos a evaluar con los ensayos de penetración efectuados en nuestros casos a estudio (se toman medidas de la profundidad del frente de carbonatación en las probetas extraídas).

PROCESO CARBONATACIÓN			
MODELO A ESTUDIO	MODELO CALCULO TEORICO (mm) ($x=K_c\sqrt{t}$)	ENSAYO PENETRACIÓN (mm)	VARIABLE ERROR (mm)
TORRE VIGILANCIA F1	63,14	80	-16,86 mm
TORRE VIGILANCIA F2	28,05	50	-21,95



VILLA EL CASTILLITO	35,49	15	+ 15,43
CANAL CALZAS ANCHAS	7,4	No hay datos	

Tabla 3.23. Valores confrontados de los 3 casos a estudio. (Elaboración propia)

Observamos como el modelo de cálculo teórico tiene unas variables de error considerables, hay que tener en cuenta que en el Caso I (Torre Vigilancia) es probable que la carbonatación se haya producido desde los dos frentes del muro analizado, y esto nos muestre unos datos un tanto contradictorios. Sin embargo en el Caso II (Villa El Castillito), sí consideramos más razonables los datos obtenidos, y la variable entre el cálculo teórico y los resultados de los ensayos de penetración del frente de carbonatación.

Entendemos que en el modelo teórico, el análisis es lineal y no contempla que los procesos de difusión (procesos de transportes de agentes en el hormigón debido a la diferencia de concentración de ese agente en diversas zonas) son variables con el tiempo dependiendo de la temperatura (T°) y la saturación existente en el hormigón (W).

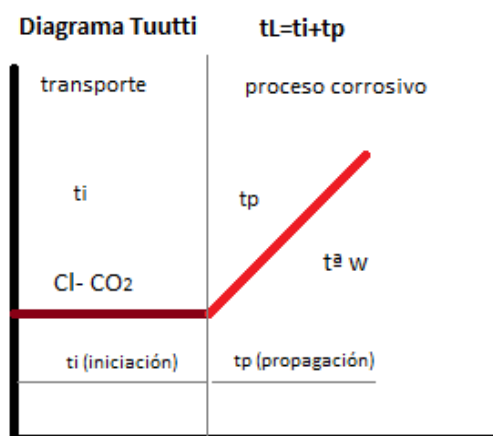


Tabla 3.24. Modelo lineal de Velocidad de corrosión. (Modelo Tuutti.Elaboración propia)

Al no poderse erradicar el ataque por CO_2 debemos tomar todas las medidas necesarias, de manera que retrasemos la penetración del agente agresivo. Para ello podemos proceder de diversas formas.

-Colocando una barrera física-química que retrase la penetración del CO_2 , en ese caso un recubrimiento, por norma general se recomienda que las armaduras estén situadas a una profundidad mínima de 20 mm de la superficie.

**Nota: (Teniendo en cuenta que un hormigón bien fabricado, con una proporción mínima de 300 Kg/m³ de cemento y un volumen de poros no superior al 12% hace que la profundidad de carbonatación (frente de carbonatación) se detenga al cabo de 20 años a una profundidad de 13 ó 14 mm. Es por este motivo que se recomienda que las armaduras se sitúen como mínimo a una profundidad de 20 mm de la superficie del hormigón).*

-Correcta dosificación de los componentes del hormigón de tal manera que este no sea muy poroso lo que facilitaría la velocidad de difusión del agente agresivo.



Podemos observar claramente la influencia que han podido tener los procesos de carbonatación en cada uno de los casos estudiados, pudiendo verificar como en el Caso II. Villa el Castillito, el fenómeno de carbonatación es el desencadenante principal de los procesos corrosivos que sufren las estructuras horizontales de hormigón armado existentes. Sin embargo en los casos I y III esta influencia es menor, encontrándonos como factor principal desencadenante de estos procesos el ion cloruro y la afección que el mismo produce en las estructuras de hormigón armado.

De hecho, podemos observar como la técnica de rehabilitación utilizada en los proyectos destinados a reparar estas estructuras es diametralmente opuesta. En el Caso II de la Villa el Castillito de Sanlúcar, se proyecta la demolición de las estructuras horizontales, teniendo en cuenta el mínimo espesor de recubrimiento que tienen las armaduras de estas losas y el estado en el que se encuentran las mismas, se hace inviable su conservación. Añadir a esta problemática que el cambio de uso al que se destinará la edificación requiere de unas sobrecargas mayores a las que inicialmente debería soportar la estructura actual.

En la zona de las bóvedas que se pretende rehabilitar se proyectan técnicas de parcheo consistentes en:

- Limpieza inicial para determinar los puntos afectados y eliminación mediante chorro de arena las zonas afectadas por corrosión, limpieza de armaduras.
- Aplicación a las armaduras de un pasivador y un protector del óxido
- Preparación del hormigón existente (en buen estado) y la armadura mediante la aplicación de una lechada de mortero trixotrópico de adherencia.
- Relleno de zona eliminada mediante morteros trixotrópicos y revestimiento final.

Observamos que el principal agente agresor en este caso es la entrada de CO_2 y que inicialmente no parece existir un alto porcentaje de cloruros en el hormigón

Fecha de toma de muestra	28.04.2014
Fecha de ensayo	23.05.2014
Técnico del ensayo	Ana María Cortés Salvago
Condiciones atmosféricas	20 °C
Identificación de la muestra	Muestra 1 - Testigo 14 - Bóveda hormigón
Tipo de probeta	Cilíndrica
Diámetro	72 mm.
Altura	98 mm.
CONTENIDO EN CLORUROS	0,014 % en Peso

Fig. 3.92. Contenido de cloruros probeta n°14. Villa el Castillito. Sanlúcar de Barrameda, Cádiz [87]



Como vemos el contenido en cloruros en esta probeta (0,014% en peso de hormigón), es inferior al que establece la norma EHE como contenido máximo (0,4 % en peso de cemento lo que se podría traducir en 0,05-0,1 % en peso de hormigón, según el contenido en cemento del mismo). Por lo tanto la influencia de este factor en la corrosión de las armaduras en el hormigón es inferior al de la carbonatación, por lo que la técnica a emplear en ese caso será la eliminación de este hormigón carbonatado o la realcanización del mismo en las zonas próximas a la armadura. Establecemos los siguientes métodos posibles de reparación en este caso:

MÉTODO 01: Aumentar el espesor de recubrimiento de hormigón con hormigón o mortero cementante: Es una medida preventiva únicamente válida en casos de poco recubrimiento. En este caso el recubrimiento de las Losas de hormigón es mínimo con lo que podría utilizarse esta técnica, aunque hay que tener en cuenta el aumento de peso y por lo tanto de carga que deberán resistir los muros de fábrica existente. Por lo tanto descartamos esta opción debido al estado de los mismos y la posibilidad que ese aumento de carga genere posteriores patologías en dichos muros o en su cimentación.

MÉTODO 02. Sustituir el hormigón carbonatado o contaminado por cloruros. Es el método de reparación más empleado. El procedimiento adoptado estará influenciado por la calidad de la superficie y las condiciones de la estructura, restricciones de acceso y cuestiones de seguridad, pero incluirá las siguientes etapas:

- Limpieza de la superficie: puede incluir el chorro de arena o el agua a presión.
- Inspección para localizar los defectos: es necesario evaluar exactamente el estado del hormigón mediante investigaciones in situ (visual, ensayo de rebote del martillo de geólogo, profundidad de carbonatación, mapa de potencial) y ensayos de laboratorio (análisis para determinar la concentración de cloruros, sulfatos, etc.).
- Eliminación del hormigón: con martillos neumáticos, herramientas de percusión, chorro de agua o maquinaria de hidro-demolición, etc., teniendo cuidado de no dañar el sustrato. Se debe eliminar el hormigón que rodea las barras expuestas.
- Preparación de la armadura: para eliminar los productos de la corrosión se emplea el chorro de arena. Puede ser necesario sustituir o colocar armadura suplementaria, si la corrosión es muy severa.
- Rehabilitación: el parcheo no puede comenzar hasta que la superficie que se va a reparar está en las condiciones apropiadas de limpieza y la temperatura del hormigón sano y del aire está por encima de 5 °C. A menudo se aplica a la superficie de la armadura uno de los siguientes tres tipos de imprimación patentados:
 - De base alcalina, incluyendo slurries cemento/agua y dispersiones cemento más- polímero.
 - Encapsulados, como la resina epoxi.
 - De sacrificio, normalmente pinturas ricas en zinc.

Mientras que, la sustitución del hormigón carbonatado por material de reparación alcalino asegura la repasivación de la armadura, la sustitución de todo el hormigón contaminado por cloruros es una tarea más complicada. Es fácil

localizar las zonas fisuradas o con el hormigón separado en láminas como consecuencia del ataque de iones cloruros, pero rehabilitar sólo estas zonas podría transferir el problema de la corrosión a las zonas adyacentes (mecanismo denominado “formación incipiente de ánodos”).

Por lo tanto, sería necesario eliminar todo el hormigón donde el contenido de cloruros sea mayor que el 0,2- 0,5% en masa de cemento, y aun así podría producirse la corrosión si el hormigón no es suficientemente alcalino.

Si los cloruros proceden de la fabricación del hormigón, es mejor ir a una técnica de reparación del tipo de la protección catódica. Del mismo modo, rehabilitar sólo parte de una sección carbonatada es equivalente a crear pares galvánicos entre el acero catódico de la zona reparada y el acero anódico de las zonas carbonatadas.

Este es el método que se ha establecido para la reparación estructural de la bóveda con profundidades de carbonatación máxima de 20 mm. Como vemos este sistema debería ser integral para que no aparezcan los pares galvánicos anteriormente citados.

Fecha de toma de muestra	28.04.2014
Fecha de ensayo	23.05.2014
Técnico del ensayo	Ana María Cortés Salvago
Condiciones atmosféricas	20 °C
Identificación de la muestra	Muestra 3 - Testigo 16 - Forjado planta baja
Tipo de probeta	Cilíndrica
Diámetro	70 mm.
Altura	110 mm.
Composición de la disolución	Feloftaleína: 1g. + Alcohol etílico: 70 ml. + Agua destilada: 100 ml.

MEDIDA DE LA PROFUNDIDAD DE CARBONATACIÓN	
Máximo de penetración	
20	mm.
Mínimo de penetración	
10	mm.
Medida de penetración	
15	mm.



Fig. 3.93. Ensayo de fenoftaleína probeta nº16 . Villa el Castillito. Sanlúcar de Barrameda, Cádiz [87]

METODO 03. Realcanización electroquímica del hormigón carbonatado por difusión. Este proceso puede realcalinizar un hormigón que ha sufrido una carbonatación limitada mediante la aplicación de una capa de mortero u hormigón alcalino a la superficie de hormigón original. La migración de álcalis desde el hormigón nuevo al original permite una realcalinización gradual. No es conveniente este método cuando el frente de carbonatación ha penetrado más de 10 mm o todo el recubrimiento. La realcalinización suele durar entre 3 y 5 días, aunque en ocasiones se tarda varias semanas.

Las reacciones catódicas alrededor de la armadura producen iones hidroxilo. El acero catódico también atrae hacia su superficie los iones álcali-metálicos, con lo que se restaura la elevada alcalinidad alrededor del acero.

La profundidad de penetración depende de la permeabilidad del hormigón y de su grado de sequedad antes de su exposición al electrolito. La eficacia de este método está muy cuestionada no sólo por los costos económicos, sino también por el alcance y duración de los efectos, ya que el pH que se alcanza llega hasta 9 ó 10, pero no restaura ni la reserva alcalina ni los pH habituales en el hormigón, por lo que recién terminado el tratamiento se suele aplicar a la superficie de hormigón un revestimiento anticarbonatación, por razones estéticas y para proporcionar una protección extra al hormigón. Aunque a veces hay problemas de adherencia entre la armadura y el hormigón debida al electrolito.

Este sistema no es óptimo para la reparación estructural en el edificio a estudio, en este caso como hemos indicado antes, pueden utilizarse estas técnicas como complemento en aquellas zonas donde no es posible la eliminación del hormigón carbonatado y el frente de penetración del mismo no es muy profundo.

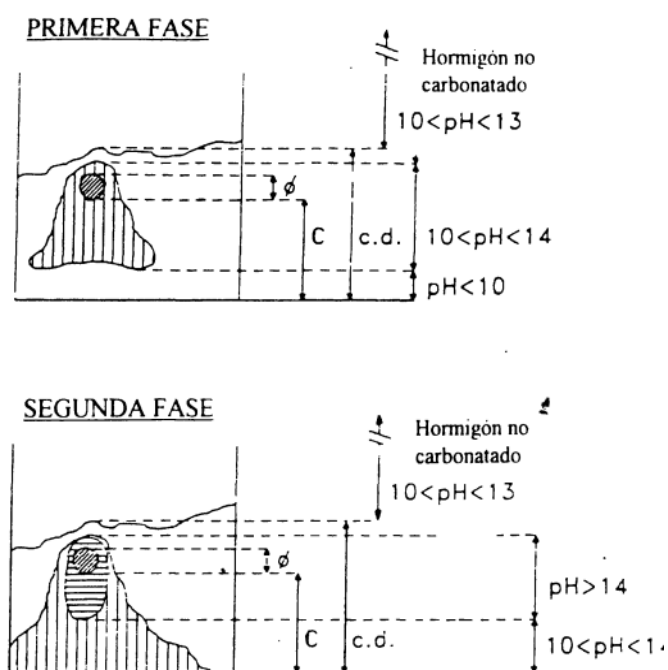


Fig. 3.94. Extensión de la zona realcalinizada alrededor de la armadura a mitad del tratamiento (primera fase) y al término del tratamiento (segunda fase); C= recubrimiento, s.c.= espesor del estrato carbonatado. [94].



Fig. 3.95. Realización electroquímica (www.vector-corrosion.com).

b) INFLUENCIA DEL ION CLORURO EN EL HORMIGÓN.

Tanto en el Caso I: Torre Vigía (Cádiz), como en el Caso III canal de Calzas Anchas (Utrera), la influencia del ion cloruro en los procesos de corrosión de las armaduras de los elementos de hormigón armado es fundamental.

En el primero de los edificios analizados, hemos podido observar que estos procesos corrosivos vienen derivados de la difusión de los iones cloruros procedentes de la niebla y el rocío marino que los transportan. En esta estructura es fundamental la influencia que tienen las condiciones atmosféricas del entorno, ya que existen condiciones ambientales muy severas en la zona: como la humedad elevada del ambiente que ha provocado que la corrosión se desencadene a gran velocidad, así como el gran soleamiento de diversas fachadas y la dirección y velocidad de los vientos dominantes provocando áreas con mucho mayor desgaste a nivel corrosivo que otras. Además en este caso se produce la acción conjunta de la carbonatación del hormigón, que aunque en estadios iniciales aumenta la resistencia del mismo, posteriormente genera la corrosión generalizada de la armadura y por tanto la fisuración del hormigón de recubrimiento, con la consecuente pérdida de sección y adherencia del mismo hasta llegar a la falla estructural del elemento.

Según los datos obtenidos en los ensayos, el contenido de cloruros es excesivamente alto en todo el espesor del paramento, al mismo tiempo existe una enorme diferencia de concentraciones entre el interior y el exterior del elemento.

Por un lado estos altos porcentajes obtenidos en los ensayos parecen indicar la existencia de cloruros en la masa inicial de hormigón, a modo de contaminantes. Igualmente al existir una excesiva diferencia en la concentración de cloruros en las muestras obtenidas en el interior y el exterior, parece indicar que el proceso de difusión del ion cloruro desde el exterior. Esto se debe a que existen zonas de secado y humectación influenciadas por el rocío marino y las partículas que arrastra el viento lo que provoca que, al desarrollarse el proceso de secado por el



soleamiento y la acción del viento se evapore el agua y queden altas concentraciones de cloruros y sulfatos en la superficie del paramento.

En el Caso III. Canal de Calzas Anchas prácticamente no existe carbonatación del hormigón (no ha dado tiempo a la difusión del mismo a través del recubrimiento), por lo que el agente agresor es únicamente el ion cloruro, lo que se demuestra en el que la corrosión detectada es localizada y no general como podría ocurrir en un caso de carbonatación.

Por tanto las soluciones de reparación estructural de ambos casos deben ser diferentes, s al actuar distintos agentes en el ataque a las estructuras analizadas.

En el Caso I: Torre Vigía se plantea en el proyecto de rehabilitación, una actuación de reparación por parcheo como hemos visto en el punto 3.4 de este documento.

Teniendo en cuenta que la edificación, que se le atribuye a D. Casto Fernández Shaw, está ubicada dentro de un Bien de Interés Cultura y podría pertenecer al movimiento GATEPAC, entendemos que se deberían implementar actuaciones lo menos invasivas posibles de tal modo que se mantenga la configuración inicial del edificio. Por lo que planearíamos la asociación de diversas técnicas de reparación, de tal manera que podamos solventar por un lado el ataque por carbonatación que sufre el hormigón y que genera la despasivación de la armadura , así como el producido por el ion cloruro que ataca directamente a la armadura de manera localizada.

De este modo se plantea la ejecución de una técnica de extracción electroquímica de cloruros asociada a la técnica de parcheo en zonas muy localizadas en el hormigón.

METODO 04: Extracción electroquímica de cloruros: Este proceso se basa en la intención de provocar que toda la armadura como cátodo, pero aplicando una polarización (corriente) mucho mayor que en la protección catódica, con el fin de forzar a los iones cloruro a emigrar hacia el ánodo. Este ánodo se coloca en el exterior de hormigón a través de un gunitado o un lecho de sustancia conductora. Los cloruros por tanto, pueden eliminarse por la circulación del electrolito, que suele ser hidróxido cálcico o agua normal.

Se han empleado electrolitos de litio en hormigones susceptibles de reacción álcali-árido. De todas formas, es posible que el tratamiento acumule localmente grandes cantidades de iones alcalinos que simulen una reacción álcali-sílice, incluso aunque el hormigón contenga áridos silíceos teóricamente. Durante el tratamiento, la concentración puntual de iones alcalinos, que se genera alrededor del acero, debería aumentar con el tiempo de aplicación de la corriente, y dado que el contenido de sílice reactiva de un hormigón es constante, el gel álcali- sílice que produce la máxima expansión se formaría para un valor crítico de la carga total que pasa. Al parecer, las mayores expansiones se registran en las muestras tratadas con intensidades de corriente intermedias (3 A/m²).

La velocidad de extracción de cloruros se reduce al disminuir su concentración en los poros. Los cloruros situados por detrás de la armadura pueden no ser eliminados, si quedan fuera del campo de acción de la corriente, y con el tiempo podrían difundirse hacia el acero, por lo que existe un riesgo de que vuelva a despasivarse.



Cuanto mayor es el recubrimiento del hormigón, el porcentaje de extracción de cloruros es menor; en las probetas con mayor relación agua/cemento, el porcentaje de iones cloruros extraídos es mayor. La redistribución de los iones cloruros que quedan dentro del hormigón puede iniciar el proceso de corrosión otra vez, si el elemento estructural ha sido contaminado por iones cloruros por más de una cara.

Este método presenta multitud de incógnitas y riesgos secundarios no aclarados, que se derivan de las elevadas corrientes que es necesario aplicar, y las incertidumbres sobre la cantidad de cloruros que son capaces de extraer, ya que para que el hormigón repase a las armaduras, el contenido en cloruros remanente debe ser extremadamente bajo (estudios recientes indican que el tratamiento extrae como máximo entre el 40 y el 55% de los cloruros totales, aunque otros autores elevan este porcentaje hasta el 77%). También es cuestionable hasta qué punto los cloruros presentes dentro de las picaduras de corrosión pueden ser extraídos por esta técnica. Por estas razones, para determinar la eficacia del tratamiento no se pueden utilizar únicamente ni el potencial de media pila ni la evolución del ión cloruro. Se necesita la técnica de la resistencia de polarización para verificar que el acero ha sido repasado tras el tratamiento. En cualquier caso hay que tener en cuenta que los costos son muy elevados y que una vez efectuada la operación es necesario proceder a la impermeabilización de la superficie para evitar que los cloruros del medio vuelvan a penetrar.

Como se asegura en el estudio *“Extracción electroquímica de cloruros del hormigón armado: estudio de diferentes variables que influyen en la eficiencia del tratamiento”* [91]. La eficiencia de la EEC depende de la posición del punto de toma de muestra. Es mayor en puntos cercanos a los refuerzos y menor en puntos más alejados de ellos, por otro lado, la eficiencia de la EEC no depende de la densidad de corriente aplicada (1-5 A/m²) durante el tratamiento, si la carga pasada ha sido la misma.

Asimismo se asegura que la reducción de los porcentajes de iones cloruro totales, está en torno al 50% al finalizar el tratamiento de EEC.

METODO 05: Revestimiento del hormigón: Según la prEN 1504-232, es un tratamiento que sirve para crear una capa protectora continua en la superficie del hormigón. Los productos pueden ser, por ejemplo, polímeros orgánicos, polímeros orgánicos con cemento como fíller.

Se diseñan para restringir la penetración de dióxido de carbono, humedad y cloruros. Deben a la vez permitir que el hormigón se seque, y tener buenas propiedades elastoméricas y una adhesión pequeña pero uniforme al sustrato, para acomodar las fisuras y movimientos del hormigón.

METODO 06: IMPREGNACIONES HIDRÓFUGAS Según la prEN 1504-232, es un tratamiento del hormigón para crear una superficie repelente al agua. Los poros y capilares no están llenos, sólo cubiertos. No se crea ninguna película. La apariencia visual de la superficie del hormigón parece inalterada. Los componentes activos pueden ser, por ejemplo: silano, siloxano. Silanos, siloxanos y otros repelentes de agua a base de silicona, no son efectivos si el hormigón se fisura. Además puede aumentar la velocidad de carbonatación al reducir la saturación de los poros.



METODO 07: AISLAMIENTO DEL HORMIGÓN: Es una medida preventiva, que puede usarse si la corrosión de la armadura se debe a la carbonatación y la concentración de cloruros en el hormigón es baja.

METODO 08: CONTROL CATÓDICO: En la práctica, es muy complicado restringir el acceso de oxígeno al hormigón. Los inhibidores de corrosión catódica intentan controlar la reacción catódica, pero no hay datos de su efectividad al ser aplicados sobre hormigón armado.

METODO 09: PROTECCIÓN CATÓDICA O PREVENCIÓN CATÓDICA: Son técnicas permanentes en las que los sistemas anódicos (revestimientos orgánicos conductivos, maclas de titanio activado, zinc rociado térmicamente, etc.) se pintan, fijan o rocían sobre toda la superficie del hormigón. En algunas aplicaciones concretas, se pueden insertar ánodos individuales en agujeros perforados en el hormigón. La corriente se ajusta de modo que el acero esté suficientemente polarizado para prevenir la corrosión por picaduras. La protección catódica se suele aplicar cuando la corrosión ya ha comenzado.

La prevención catódica trata de asegurar que el acero este suficientemente polarizado como para que no se inicie la corrosión. El proceso además reduce el ingreso de cloruros y rellena de iones hidroxilo inhibidores el hormigón que rodea al acero.

Los sistemas de protección catódica de sacrificio se han instalado con éxito en estructuras de EEUU y Latinoamérica sumergidas en el mar o en la zona de salpicadura.

Este proceso ha funcionado peor en hormigones expuestos a la atmósfera en lugar de estar sumergidos. Tiene bajos costes de instalación y mantenimiento.

Los ánodos “planar” son la configuración más efectiva para reducir la resistencia del electrolito (hormigón) y mejorar la distribución de corriente en las armaduras de puentes de hormigón. Los ánodos térmicamente aplicados y los ánodos de estaño con un adhesivo conductor pueden lograr estos objetivos. Los ánodos de zinc térmicamente aplicado pueden tener una vida útil superior a los 25 años con una densidad de corriente de 2,2 mA/m². Un factor importante que reduce la polarización del ánodo es la humectación periódica del ánodo por la lluvia, la niebla y el rocío.

Los ánodos de titanio catalizado térmicamente aplicado son una alternativa a los de zinc. Se comportan bien tanto en ambientes de baja como de alta humedad y tienen un comportamiento estable a largo plazo.

Los humectantes (tratamientos químicos del ánodo para atraer la humedad), como el nitrato de litio o el bromuro de litio, parecen funcionar bien como tratamiento para los ánodos de zinc térmicamente aplicado, al aumentar la humedad en el contacto.

Otro sistema de protección catódica consiste en llevar la estructura metálica a un potencial de valor tal que el proceso de corrosión no pueda tener lugar. El potencial de polarización varía en función del agresivo y de las características de la estructura a proteger, aunque generalmente se recomienda entre -700 y -900 mV (ESC). El procedimiento actualmente más utilizado es mediante corriente impresa, aplicada a través de una fuente de



corriente continua, de forma que el polo positivo se conecta a un ánodo auxiliar llamado electrodo dispensor de corriente y el polo negativo a la armadura.

No es necesario eliminar el hormigón contaminado, aunque sí es importante reconstruir las zonas dañadas para asegurar una buena distribución de la corriente.

Una de las mayores dificultades a vencer a la hora de aplicar protección catódica es conseguir que la distribución de corriente sea uniforme, para así proteger toda la estructura y no crear lugares de sobre o subprotección. Por ello es necesario que la separación entre ánodo y cátodo sea pequeña, de 2 a 5 cm.

Es el único método de parar una corrosión ya iniciada. Las armaduras deben tener continuidad eléctrica. Tiene como inconvenientes que necesitan un mantenimiento continuo y un personal muy cualificado. No se conocen los posibles efectos a largo plazo en el hormigón contiguo al ánodo o al cátodo, hay dudas a la hora de aplicarlo a estructuras pretensadas o carbonatadas, dudas en cuanto a la profundidad de penetración de la corriente aplicada, falta de métodos para evaluar la efectividad del funcionamiento, etc. Tampoco se conocen bien los efectos a largo plazo sobre la adherencia ni el posible aumento de riesgo de reacción árido-álcali.[91][92]

METODO 10: Pintar la armadura con revestimientos que contengan pigmentos activos o con revestimientos barrera

Los componentes activos de los pigmentos pueden ser el zinc u otro tipo de inhibidor, pero su concentración necesariamente baja no puede proporcionar una protección a largo plazo de la armadura, por lo que se recomienda que se emplee complementariamente con otra técnica de protección.

La aplicación de un revestimiento barrera se emplea sólo para pequeñas aplicaciones específicas. Exige la exposición de la barra, limpiarla y la aplicación del revestimiento en toda su superficie.

La aplicación de un revestimiento implica que en el futuro no se podrán adoptar determinadas técnicas de protección, como la catódica, lo que puede disminuir la efectividad de esta técnica.

MÉTODO 11: Aplicar inhibidores de corrosión al hormigón Los inhibidores están disponibles como líquidos, geles o en polvo y se emplean para controlar la velocidad de corrosión de las armaduras. Hay tres categorías:

- Inhibidores anódicos que controlan la reacción anódica de la pila de corrosión (por ejemplo, los nitratos).
- Inhibidores catódicos que controlan la reacción catódica (por ejemplo, los benzoatos).
- Inhibidores “ambióticos” que controlan las dos reacciones.

Los inhibidores anódicos y los catódicos tienen inconvenientes (el de nitrato de sodio se agota con el tiempo; el de benzoato de sodio actúa de un modo que no se agota con el tiempo, pero inicialmente no logra una inhibición completa, por lo que se pueden producir fuertes corrosiones a edades tempranas; además el de benzoato reduce la resistencia a compresión del hormigón), aunque muchas de ellas se pueden superar empleando un sistema mixto.



Los más usuales son los inhibidores anódicos y los ambióticos. Se pueden añadir a la mezcla de hormigonado o posteriormente a una estructura ya existente.



CAPITULO 4 CONCLUSIONES

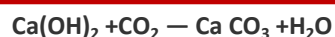
Una vez establecidas establecida la discusión y el análisis de los resultados mostrados en anteriores puntos y tras establecer los procesos de regeneración y rehabilitación de las diferentes estructuras de hormigón sometidas a patologías de corrosión pasamos a presentar las siguientes conclusiones alcanzadas en este trabajo:

- 1.) Una de las características fundamentales que van a incidir en los procesos corrosivos es la orientación de la edificación y la climatología existente en la zona donde se ubica el elemento. Variables como los vientos dominantes en la zona, el soleamiento y la precipitación anual pueden indicarnos el nivel de protección que debemos asegurar en estas estructuras para que no se vean afectadas por este tipo de procesos. Ya que como hemos podido observar en los casos analizados, estos parámetros pueden incidir de manera muy significativa tanto en la velocidad de propagación de la corrosión, ya que condicionan de manera muy notable en la penetración tanto del dióxido de carbono (CO_2), como del ion cloruro (Cl^-) en el hormigón que desencadenan los procesos de corrosión tanto por carbonatación como por cloruros.
- 2.) La calidad del hormigón y su composición es un parámetro muy importante a la hora de retardar los procesos de difusión tanto del ion cloruro (Cl^-) como del dióxido de carbono (CO_2). Así la relación agua/cemento de la composición del hormigón tendrá una especial incidencia en los procesos de Carbonatación y la penetración de cloruros en el hormigón. Por ende también se establece una relación entre la carbonatación del hormigón y la resistencia a compresión del mismo. Por lo que si la velocidad de penetración del CO_2 es alta (valores altos de constante de carbonatación K_c) entendemos que la relación agua/ cemento de la mezcla tendrá valores altos lo que se traducirá en una menor resistencia a compresión del elemento.
- 3.) Los daños producidos por procesos corrosivos aumentan en el momento que el ancho de fisuración del elemento superan los 0,4 mm.. La fisura supone un camino de acceso a la armadura de los agentes agresivos, en particular del anhídrido carbónico y de los cloruros, mucho más rápido que la estructura porosa de recubrimiento. El ancho de fisura tiene importancia en la iniciación de la fisuración y en la rotura de la capa de pasiva ión. Después de la despasivación, en anchos hasta 0,4 mm, el ancho de fisura tiene poca importancia en la velocidad de corrosión.
- 4.) Las características de los materiales empleados a la hora de la ejecución y como se ha realizado la misma tienen gran influencia a la hora de la aparición de patologías asociadas a la corrosión. Teniendo en cuenta que la presencia de sales en los materiales de ejecución pueden ocasionar altos contenidos de cloruros desde el amasado del elemento, y ocasionar grandes concentraciones de cloruros a lo largo de todo el elemento, generando graves problemas de corrosión difícilmente subsanables.



- 5.) Comparando entre estructuras de hormigón situadas en zona de carreras de mareas y salpicaduras, con otras estructuras de hormigón ubicadas en zonas sumergidas, comprobamos que aun siendo igual o mayor el porcentaje de cloruros presentes en estos elementos, la reacción corrosiva ha sido mucho menor lo que nos lleva a la conclusión que en atmósferas saturadas de agua esta reacción se ralentiza. Por lo tanto la calidad del hormigón para estos elementos puede ser mucho menor que para los edificios y construcciones construidos en zona de salpicaduras donde la atmosfera no está saturada de agua y la presencia de oxígeno y CO₂ es mayor. Hay que tener en cuenta que la carbonatación comienza en la superficie y penetra lentamente hacia el interior, siendo determinante en el proceso la velocidad de difusión del CO₂ hacia el interior del hormigón.

Al reaccionar el hidróxido de calcio (responsable del PH alcalino del hormigón) con el CO₂ que ha penetrado en el hormigón por difusión, se crea carbonato cálcico y agua (proceso de carbonatación del hormigón).



La difusión del CO₂ sólo es posible en poros llenos de aire. Por tanto el hormigón no se carbonata si se encuentra totalmente saturado de agua al ralentizarse la difusión del CO₂, de esta manera el PH en la zona próxima a la armadura esta aun en niveles alcalinos protegiendo a esta de los efectos del ion cloruro y ralentizando por tanto el ataque corrosivo con respecto a las estructuras situadas en la zona de salpicaduras y carrera de mareas.

- 6.) Deberá realizarse una evaluación sobre el agente inductor de la corrosión antes de decantarse por alguno de los sistemas de reparación y rehabilitación de estructuras existente
- 7.) Los métodos de detección mediante ensayos de resistividad eléctrica se muestran como las técnicas no destructivas más eficaces para la determinación de los avance de los procesos de corrosión existentes en elementos de hormigón armado. Este ensayo valora aspectos tales como:
- El endurecimiento en estado fresco
 - El grado de curado del elemento
 - La resistencia a la penetración de los cloruros y la carbonatación
 - La velocidad de corrosión de la armadura.
- 8.) Se usa el método de potencial de corrosión para determinar las zonas mas afectadas por estos procesos, ya que podemos medir el potencial en diferentes puntos de la armadura
- 9.) El método de rehabilitación de estructuras más habitualmente empleado es el de parcheo, consistente como ya indicamos anteriormente en la sustitución del hormigón carbonatado o contaminado con cloruros. Esta técnica es muy poco selectiva y no presenta buen porcentaje de eficacia en los casos de



corrosión inducidos por el ion cloruro, ya que si el perfil de cloruros que haya penetrado a lo largo de todo el espesor de los paramentos nunca se eliminara del todo, manteniéndose un alto porcentaje de los mismo en la zona posterior de la armadura y pudiendo volver a difundirse hacia la zona reparcheada. Pudiéndose producir igualmente el problema asociado de la “formación incipiente de ánodos”, entre zonas reparadas y zonas que no lo hayan sido.

- 10.) Tal y como indican diversos autores el único proceso de rehabilitación que es capaz de parar el proceso corrosivo es la protección catódica sea cual sea el contenido de cloruros del elemento y la profundidad del frente carbonatado.
- 11.) El aumento de la vida útil en función del aumento del espesor de recubrimiento y de la mejora en la calidad del hormigón es generalizada.
- 12.) La repercusión del aumento del recubrimiento en la estimación de vida útil discurre en paralelo a la calidad del hormigón utilizado.
- 13.) La extracción de cloruros de hormigones contaminados y la realcalinización de hormigones carbonatados por medios electroquímicos se han revelado como técnicas de reparación y rehabilitación de estructuras muy específicas y de alto grado de eficacia, aunque estas son técnicas desarrolladas en los últimos años, por lo que no hay datos suficientes sobre su efectividad a largo plazo. Ha habido algunos problemas de adherencia e integridad en los revestimientos aplicados en los tratamientos de realcalinización debido al empleo de elevadas densidades de corriente ya que pueden llevar a un daño del hormigón en contacto con las armaduras, con la consecuente pérdida de adherencia. Se puede atribuir la causa principal de este daño al desprendimiento de hidrógeno; también otras posibles causas de disminución de adherencia, actualmente en fase de estudio, son los efectos de una reacción árido-álcali o la debilitación de la pasta de cemento, causada por la acumulación gradual de iones Na^+ y K^+ en la proximidad de la armadura.
- 14.) Las intensidades de corriente utilizadas para los procesos de realcanización y extracción electroquímica de cloruros son muy superiores a las que se utilizan para prevención y protección catódicas, siendo estas últimas de carácter permanente a lo largo de toda la vida útil de la estructura. Este hecho condiciona enormemente la posibilidad de utilización de las mismas puesto que es necesario que se genere esa corriente eléctrica a lo largo de toda la vida de la estructura con el coste adicional que esto supone. Sería interesante la integración de medidas de generación de energía sostenible a la hora de realizar estas actuaciones disminuyendo de esta manera los costes de estas instalaciones.

INTENSIDADES DE CORRIENTE PARA LOS DIFERENTES TIPOS DE REPARACIÓN ELECTROQUÍMICA		
TECNICA DE REPARACIÓN	INTENSIDAD (por m^2 acero)	PERIODO DE POLARIZACIÓN
Realcanización	0,5-1,0 A	3-10 días



Extracción cloruros	1-2 A	2-6 semanas
Protección catódica	5-20 mA	Permanente
Prevención catódica	0,4-2 mA	Permanente

- 15.) Las impregnaciones hidrófugas y los revestimientos impermeables se han empleado con éxito como medida preventiva, pero son inútiles si el hormigón ya está contaminado por cloruros o carbonatado
- 16.) Existen actualmente una alta gama de materiales compuestos que pueden asegurar el buen funcionamiento de las estructuras en zonas de ambientes muy agresivo ya que su gran resistencia, ligereza y el excelente comportamiento ante los agentes climáticos y la corrosión los convierten en materiales idóneos para rehabilitar estas estructuras.
- 17.) Como hemos podido analizar anteriormente la fibra de vidrio se presenta como el material compuesto con más posibilidades a la hora de combatir la corrosión puesto que además de tener prácticamente la misma resistencia que la fibra de carbono, su precio es menor al ser el proceso de fabricación más sencillo.
- 18.) Las barras de fibra de vidrio se pueden utilizar para el refuerzo de estructuras de hormigón, pudiéndose reducir la sección de estas al ser prácticamente 2 veces más resistentes que las barras de acero para un mismo diámetro. Estas son inmunes a la corrosión que siempre existe en las armaduras de acero originada por la presencia de humedad y oxígeno. Por lo tanto es un buen sistema para el reemplazo de barras de acero corroídas.
- 19.) Se establece el siguiente protocolo de actuación en función de las conclusiones desarrolladas en esta tesis.

MEDIDAS DE ACTUACIÓN ANTE PROCESOS DE CORROSIÓN





CAPITULO 5 FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACIÓN.

Se establecen las siguientes líneas de investigación futuras en base a las conclusiones establecidas en esta tesis.

A) EL USO DE ELEMENTOS COMPUESTOS EN SUSTITUCIÓN DEL ACERO COMO MATERIAL CONFORMANTE DEL HORMIGÓN ARMADO.

Se están realizando actualmente estudios y nuevas patentes de elementos compuestos que hagan la función de armadura en el hormigón armado. Como hemos visto a lo largo de la tesis, existen ya en el mercado armaduras tanto de fibra de vidrio como de fibra de carbono cuyas prestaciones mejoran las propias del acero. El problema actual de implementar este tipo de materiales es tanto económico como del carácter conservador en el empleo de nuevos materiales en las construcciones. Puesto que el incremento económico que supone la utilización de estos materiales, se ve claramente amortizado con las prestaciones de durabilidad que le confieren al hormigón armado posibilitando una disminución en la cuantía de las posibles reparaciones que puedan tener a lo largo de la vida útil de la construcción.

B) MODIFICACIÓN DE LA COMPOSICIÓN DEL CEMENTO.

El cemento que más se usa en la actualidad es el cemento portland, es un compuesto de calcio silicatos e hidratos, para su fabricación se necesita la cocción de la piedra caliza a una temperatura aproximada de 1450°C, lo que supone que este material es el responsable aproximadamente de un 5% de las emisiones de CO₂ del mundo.

En unos recientes estudios elaborados por el laboratorio de Berkeley de la Universidad de California, se ha comprobado como los romanos usaban en la elaboración de cemento mucha menos cal y se fabricaba con piedra caliza horneada a 900 °C, por lo tanto necesitaban mucho menos combustible para su fabricación que el cemento portland actual. Cómo se puede ver en el estudio de la Universidad de Berkeley, los romanos fabricaban este hormigón con cal, arena y roca volcánica, y para estructuras bajo el agua empleaban cal y ceniza volcánica a fin de formar el mortero y luego lo colocaban sobre moldes de madera a modo de encofrado. El agua de mar provocaba una reacción química inmediata que liberaba calor, por lo que la cal se iba hidratando incorporando moléculas de agua a su estructura y reaccionaba con la ceniza para unir toda la mezcla. Por lo tanto su principal diferencia con el hormigón elaborado con cemento Portland es el tipo de aglutinante que une a los componentes del hormigón, el hormigón romano presenta menos silicio que el anterior y por el contrario aluminio agregado, así se obtiene un compuesto formado por calcio, aluminio, silicatos e hidratos. Eso le ha conferido a este hormigón mayor resistencia que el utilizado actualmente (prueba de ello son las grandes obras romanas como el Panteón, con una edad de unos 1900 años y que contiene la mayor cúpula de hormigón en masa del mundo.)



El único problema que presentaría este hormigón, es que actualmente las normativas obligan a que el hormigón posea un mínimo de armadura que soporte los esfuerzos a tracción a los que se vea sometido, por lo que el uso de agua de mar podría fomentar la corrosión de estos refuerzos, y aquí es donde se abriría dos nuevas vías de investigación, por un lado la del uso del hormigón romano como tal con una armadura a base de elementos compuestos que no presenten problemas de corrosión (en conjunción con la línea A de investigación) y por otro la búsqueda de nuevas composiciones y modelos basados en cal y roca o ceniza volcánica.

Por otra parte en el estudio desarrollado por el Laboratorio Berkeley, también se ha demostrado que el hormigón romano va endureciendo con el tiempo al igual que ocurre con el actual, salvo por la diferencia de que el hormigón en base a cemento Portland se encoje produciendo tensiones y fisuras que permiten la entrada de los agentes agresivos al acero, sin embargo el hormigón romano basado en cal y ceniza volcánica no presenta tensiones interiores que produzcan fisuraciones, y de esa manera el proceso químico de la cal continua fortaleciéndose con el paso del tiempo.

C) DESARROLLO DE NUEVOS ADITIVOS.

Se están elaborando diversos estudios (Universidades de Cambridge, Cardiff y Bah) sobre la aplicación de ingredientes de origen biológico como aditivo en el hormigón. Investigadores holandeses de la Universidad Técnica del Delft (TU) han desarrollado un biohormigón que se repara por sí solo, al rellenar mediante la caliza sintetizada de los microorganismos, las posibles fisuras que se produzcan en el compuesto, lo que protege a la armadura de posibles entradas de agentes agresivos, retardando la difusión de los mismos al reducirse igualmente la porosidad del hormigón. Así el sistema está formado a raves de una bacteria (*Bacillus*) altamente resistente en condiciones extremas, ya que el pH del hormigón suele rondar los 11,5, siendo muy alcalino, así esta bacteria repara el hormigón conforme crece, al producir caliza que rellena las fisuras y sella el materia. Para que las bacterias puedan sintetizar el carbonato cálcico necesario para reparar el hormigón es imprescindible que dispongan de comida suficiente para ello. Para ello se optó por añadir cápsulas biodegradables de lactato de calcio, que sólo se abren en contacto con el agua. De esta forma los microorganismos permanecerán dormidos hasta que el hormigón se resquebraje, cuando comenzarán a crecer y repararlo. Este sistema ya ha sido utilizado en varias construcciones holandesas, tanto en estructuras de nueva construcción como en reparaciones de construcciones dañadas. Por lo tanto este sistema puede reparar fisuras de hasta 0,5 mm lo que aumenta la durabilidad y mejora el aspecto del hormigón

D) UTILIZACION DE ACEROS CON BAJO CONTENIDO EN NIQUEL EMBEBIDOS EN MORTEROS DE CENIZA VOLANTE ACTIVADOS ALCALINAMENTE.

Se está estudiando la utilización de morteros y hormigones elaborados con cenizas volantes activadas alcalinamente (sin cemento Portland), según el activador alcalino que se utiliza el material resultante



presenta unas mejores características en cuanto a resistencia mecánica, baja retracción al secado, muy buena adherencia matriz-acero y una excelente resistencia al ataque ácido.

E) NUEVAS TÉCNICAS DE DETECCIÓN/ANÁLISIS NO DESTRUCTIVAS

Se están produciendo avances a la hora de desarrollar técnicas de detección y análisis de corrosión no destructivas. Actualmente se desarrollan técnicas asociadas a la resistividad eléctrica de los materiales para saber el estado corrosivo que presenta una estructura.

F) EVALUAR LA EXTENSION DE LA VIDA ÚTIL PARA HORMIGONES REALCANIZADOS Y ESTUDIO DE LA RECARBONATACIÓN POSTERIOR A LA APLICACIÓN DEL TRATAMIENTO.

G) EVALUAR LA EXTENSION DE LA VIDA ÚTIL PARA HORMIGONES TRATADOS MEDIANTE EXTRACCIÓN ELECTROQUÍMICA DE CLORUROS.



CAPITULO 6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 BROOMFIELD, J.P, 1997 **“CORROSION OF STEEL IN CONCRETE STRUCTURES, UNDERSTANDING INVESTIGATION AND REPAIR”**, E&FN Spon, pp. 1,17,21 y 53
- 2 TAYLOR,H.F.W. 1967, **“LA QUÍMICA DE LOS CEMENTOS”**, Urmo. S.A, de Ediciones Bilbao
- 3 **EL BLOG DEL ACERO INOXIDABLE** [en línea][consultado el 15 de Marzo de 2013] Disponible en:
<<http://aceroinox.net/?p=364> 1>
- 4 SINC **“ACEROS DÚPLEX PARA EVITAR LA CORROSIÓN EN LAS ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN”** [en línea].
[consultado lunes 7 de Octubre 2013]. Disponible en <
<http://www.agenciasinc.es/Multimedia/Fotografias/Aceros-duplex-para-evitar-la-CORROSIÓN-en-las-estructuras-de-hormigón>>.
- 5 UHLIG H.H (1970) **“CORROSIÓN Y CONTROL DE CORROSIÓN”**. Editorial Urmo. Bilbao, España.
- 6 GALLIGO ESTÉVEZ, J. M **“LOS PROCESOS DE CORROSIÓN DE LAS ARMADURAS”**. En: CEDEX, Curso sobre durabilidad y reparación de estructuras de hormigón, Madrid, CEDEX, 1998.
- 7 **ELETTROCHIMICA OSSIDAZIONI E RIDUZIONI** [en línea] [consulta jueves 02 de octubre 2014] Disponible en
<<http://www.larapedia.com/elettrochimica/elettrochimica.html>>.
- 8 ANDRADE, C., ALONSO,C. SARRIÁ, J. y CASTELLOTE, M. (1998). **CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE CORROSIÓN DE ARMADURAS**. En IETcc. Durabilidad de estructuras de hormigón: vida útil, refuerzo y reparación. XIV Curso de Estudios Mayores de la Construcción CEMCO 98. MADRID.
- 9 RIERA, Roselby, **“CIENCIA DE LOS MATERIALES, CORROSIÓN”** [en línea] [consultado martes 8 de Octubre de 2013] Disponible en: < <http://cma403.blogspot.com/2008/07/CORROSIÓN.html>>
- 10 **CORROSIÓN POR PICADURA (PITTING)** [en línea] [consultado martes 8 Octubre 2013] Disponible en:
<http://www.merus.es/in-general/pitting>.
- 11 **PATOLOGIA EN LA EDIFICACIÓN** [en línea] [consultado Jueves 02 Octubre 2014] Disponible en:
<http://jdmoreno3.blogspot.com.es/2013/10/carbonatacion-versus-ataque-por-ion.html> .
- 12 IBARRA ECHEVERRIA, Mauricio; NÚÑEZ S., Eduardo y HUERTA, José M. **MANUAL ACEROS INOXIDABLES**. [En línea] Chile: INDURA, tecnología a su servicio. [Consultado 02 de Octubre de 2014] Disponible en:
http://www.indura.cl/_file/file_1774_manualdeacerosinoxidables%20indura.pdf.



- 13 **CORROSIÓN POR FATIGA.** [en línea] [consultado 02 de Octubre 2014]. Disponible en:
http://www.cimsaww.com/internet/es/cupropedia/la_corrosi_n/corrosi_n_por_fatiga/CORROSIÓN_por_fa_tiga_1.jsp.
- 14 **GUÍA DEL ACERO GALVANIZADO.** Productos de acero Lamigal. [en línea] [consultado 02 Octubre 2014]. Disponible en <http://www.lamigal.com/metal-acero-CORROSIÓN/metal-CORROSIÓN-galvanizado.html>.
- 15 Sánchez de Rojas Noguera, María José, 2004, Tesis Doctoral **“EXTRACCIÓN ELECTROQUÍMICA DE CLORUROS DEL HORMIGÓN ARMADO. ESTUDIO DE DIFERENTES VARIABLES QUE INFLUYEN EN LA EFICIENCIA DEL TRATAMIENTO”**. Universidad de alicante.
- 16 **CORROSIÓN AND MATERIALS CHEMISTRY RESEARCH LABORATORY.** Georgia Institute of Technology [en línea] [consultado en Viernes 3 de Octubre 2014]. Disponible en:
<http://www.cmcrl.gatech.edu/news/grapH.html>.
- 17 RB Conspro- Productos químicos para la construcción **“INHIBIDORES DE CORROSIÓN MIGRATORIO”** [en línea][consultado martes 8 Octubre de 2013] Disponible en :<
<http://rbconspro.wordpress.com/2009/06/23/inhibidores-de-CORROSIÓN-migratorio/>>.
- 18 GONZÁLEZ DE LA COTERA, MANUEL. ASOCEM **“LA CORROSIÓN DEL HORMIGÓN EN AMBIENTE MARINO”** 1998. [en línea] [consultado en Jueves 02 Octubre 2014]. Disponible en:
http://www.asocem.org.pe/scmroot/bva/f_doc/hormigón/mgc57_CORROSIÓN.pdf
- 19 L. REED AND L.R. BARRET, The Salaggin of Refractories. Part I. **THE CONTROLLING MECHANISM IN REFRACTORY CORROSIÓN**, Trans. Brit. Ceram. Soc.54, [11] 671-676 [1995].
- 20 COBO ESCAMILLA, ALFONSO (2001). **“CORROSIÓN DE ARMADURAS DE HORMIGÓN ARMADO. CAUSAS Y PROCEDIMIENTOS DE REHABILITACIÓN**. Editorial Fundación Escuela de la Edificación. Madrid, Es ISBN 84-86957-88-5.
- 21 MEHTA, PK Y MONTEIRO, P.J.M (1986). **CONCRETE. STRUCTURE, PROPERTIES AND MATERIALS** (113-178) Ed. Prentice Hall.
- 22 ALAEJOS GUTIÉRREZ, M^a DEL PILAR. BERMÚDEZ ODRIÓZOLA, MIGUEL ÁNGEL (2008). **“CORROSIÓN DE LAS ARMADURAS EN EL HORMIGÓN SITUADO EN AMBIENTE MARINO**. Ed CEDEX. Madrid, España. ISBN 978-84-7790-472-4
- 23 COSTA, C.; CARVALHO, P. Almeida de; BORDADO, J.C. e NUNES, A. **ESTUDIO DE ARGAMASAS DE BASE CEMENTÍCIA POR MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE VARRIMENTO**. C.Tecn. Mat. [en línea]. 2009, vol.21, n.3-4 [citado 2014-10-17], pp. 31-35. Disponible en:
http://www.scielo.gpeari.mctes.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0870-83122009000200006&lng=pt&nrm=iso. ISSN 0870-8312.



- 24 MORON, OLEYDA et al. **"DESARROLLO DE UN MODELO PARA PREDECIR LA DURABILIDAD DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO EN MEDIOS MARINOS"**. Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia [en línea]. 2003, vol.26, n.2 [consultado 08/10/2014] [[Disponible en: <http://www.scielo.org.ve/scielo.pHp?script=sci_arttext&pid=S0254-07702003000200001&lng=es&nrm=iso>](http://www.scielo.org.ve/scielo.pHp?script=sci_arttext&pid=S0254-07702003000200001&lng=es&nrm=iso)]. ISSN 0254-0770.]
- 25 Revista Cemento, año 6, nº 25 **"DURABILIDAD DE LAS ESTRUCTURAS: CORROSIÓN POR CARBONATACIÓN. INFLUENCIA DEL ESPESOR Y CALIDAD DEL RECUBRIMIENTO"**. [en línea][consultado en 07 de Marzo 2013] [disponible en: <http://www.icpa.org.ar/publico/files/rev25durabest.pdf>]
- 26 AFAM. **MORTEROS DE REVESTIMIENTO** 2006 Madrid 1ª Edición. Asociación nacional de fabricantes de mortero.
- 27 D'ANDREA, RENATA. **"PREDICCIÓN DE DURABILIDAD DEL HORMIGÓN ARMADO A PARIR DE INDICADORES DE CORROSIÓN. APLICACIÓN DE LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA"**. Tesis Doctoral 2010. Departamento de Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Instituto de Ciencias de la Construcción. Eduardo Torroja. CSIC.
- 28 SCHIESSL, P., and RAUPACH, M., **"INFLUENCE OF CONCRETE COMPOSITION AND MICRO CLIMATE ON THE CRITICAL CHLORIDE CONTENT IN CONCRETE," "PROCEEDINGS, CORROSIÓN OF REINFORCEMENT IN CONCRETE"**, C. L. Page, K. W. Treadaway, and P. B. Balmforth, eds., Society of Chemical Industry, 1990. T.S. Busby, **TANK BLOCKS FOR GLASS FURNACES**, Ed. by Soc. of Glass Technoly, Sheffield, UK., pp. 51, (1966).
- 29 **EN ISO 9223. CORROSIÓN OF METALS AND ALLOYS: CORROSIVITY OF ATMOSPHERES: CLASSIFICATION;** EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN): BRUSSELS, BELGIUM, 1992.
- 30 Revista Cemento, año 6, nº 27 **"DURABILIDAD DE LAS ESTRUCTURAS: CORROSIÓN INDUCIDA POR EL ION CLORURO"** [en línea] [consultado en 09 de Octubre 2014] [disponible en <http://www.icpa.ar/publico/files/rev27ion.pdf>].
- 31 K. TUUTTI - **"CORROSIÓN OF STEEL IN CONCRETE. SWEDISH CEMENT AND CONCRETE RESEARCH INSTITUTE"**. Nº F04, Stockholm, Suecia. (1982)
- 32 CYTED – DURAR **"MANUAL DE INSPECCIÓN, EVALUACIÓN Y DIAGNÓSTICO DE CORROSIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO"**. Reporte Final, Red Durar, CYTED, Maracaibo, (1997). **MANUAL DE EVALUACIÓN DE ESTRUCTURAS AFECTADAS POR CORROSIÓN DE LA ARMADURA**. Rodríguez y J. Aragoncillo (Geocisa). C. Andrade y D. Izquierdo CSIC. "Eduardo Torroja" CONTECVET-IN 309021 Madrid
- 33 A.K. SURYAVANSHIA, J.D. SCANTLEBURY, S.B. LYON. **"MECHANISM OF FRIEDEL'S SALT FORMATION IN CEMENTS RICH IN TRI-CALCIUM ALUMINATE"** Department of Mechanical & Process Engg, University of Sheffield, Sheffield, UK. CORROSIÓN & Protection Centre, UMIST, Manchester, UK.



- 34 **PATOLOGIA DE LA EDIFICACIÓN**. Wikilibros contributors. 2013 [en línea] [consultado en 9 octubre 2014][disponible en <http://es.wikibooks.org/w/index.php?title=Especial:Citar&page=Patolog%C3%ADade_la_edificaci%C3%B3n&id=215351>.
- 35 HERNÁNDEZ O, Y MENDOZA C.J, 2006. “**DURABILIDAD E INFRAESTRUCTURAS: RETOS E IMPACTO SOCIOECONOMICO**”, Inv y Tecnología v.7 No.1, México.
- 36 **HCC PROTECCIÓN CATÓDICA DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO**. [en línea] [consultado en 9 Octubre 2014][disponible en <http://www.hcc-es.com/archivos/BOLETIN%20TECNICO%2004-%20Proteccion%20catodica.pdf>].
- 37 MIETZ, J.: “**ELECTROCHEMICAL REHABILITATION METHODS FOR REINFORCED CONCRETE STRUCTURES**”, Publication nº 24 of the European Federation of CORROSIÓN. The Institute of Materials, Londres, 1998
- 38 R.POLDER, H. J. VAN DER HONDEL: “**ELECHTROCHEMICAL REALKALINIZATION AND CHLORIDE REMOVAL OF CONCRETE**” Proc. Of RILEM. Conference "Rehabilitation of Concrete Structures" pp. 135-147, Melbourne, 1992
- 39 L.LAZZARI: “**RIALCALINIZZAZIONE, RIMOZIONE DEI CLORURI, INIEZIONE DI INIBITORI**”, Actos del curso de Istruzione Permanente de Politécnico di Milano sulla "corrosión delle armature nelle strutture in c.a.". Politécnico di Milano, Giugno 1992.
- 40 LUCA BERTOLINI, FABIO BOLZONI, BERNHARD ELSENER, PIETRO PEDEFERRI y CARMEN ANDRADE. “**LA REALCANIZACIÓN Y LA EXTRACCIÓN ELECTROQUÍMICA DE LOS CLORUROS EN LAS CONSTRUCCIONES DE HORMIGÓN ARMADO**” 1996. [en línea][consultado en 10 de Marzo 2014] [disponible en: <http://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/viewFile/522/570>].
- 41 RENOFORS. HORMIGÓN. **TRATAMIENTOS QUIMICOS DE LA CORROSIÓN** [en línea] [consultado el 16 Octubre 2014] [disponible en <http://renofors.com/es/savoir-faire/en-el-hormigón>] .
- 42 **INHIBIDORES DE LA CORROSIÓN DE ACERO EN HORMIGÓN ARMADO EN AMBIENTE MARINO**, Ricardo Venegas, Rosa Vera, Ana maría Carvajal, María Villaroel y Paula Rojas. Suplemento de la Revista Latinoamericana de Metalurgia y materiales 2009; S1(2):603-607 [en línea] [consultado en 14 Octubre 2014] [disponible en <http://www.polimeros.labb.usb.ve/RLMM/home.html>].
- 43 **CORTEC MCI-2020 FICHA TÉCNICA** [en línea] [consultado en 14 Octubre 2014] [disponible en <http://quimilock.es/CORROSIÓN/upload/ficheros/2355c29289f944e0ba80069c80811a5f.pdf>].
- 44 GONZÁLEZ FERNÁNDEZ, JOSÉ ANTONIO. MIRANDA VIDALES, JUANA (2007). “**CORROSIÓN EN LAS ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO: FUNDAMENTOS, MEDIDAS, DIAGNOSIS Y PREVENCIÓN**”. Ed. CSIC.Madrid, España ISBN 978-84-00-08605-3.



- 45 FERNÁNDEZ CANOVAS, MANUEL. **"PATOLOGÍA Y TERAPÉUTICA DEL HORMIGÓN ARMADO"**.1984. Ed. Dossat.
- 46 DELIBERS LINIERS, ADOLFO. (1993) **"TECNOLOGÍA Y PROPIEDADES MECÁNICAS DEL HORMIGÓN"**. Ed INTEMAC. Madrid, España. ISBN 84-88764-01-4.
- 47 GONZÁLEZ, JOSÉ ANTONIO. (1989). **"CONTROL DE LA CORROSIÓN. ESTUDIO Y MEDIDAS POR TÉCNICAS ELECTROQUÍMICAS"**. Madrid, España. Ed. CSIC.
- 48 DA SILVA, TURIBIO JOSÉ. (2002) **"LA PREDICCIÓN DE LA VIDA ÚTIL Y DE LA VIDA RESIDUAL DE LAS CONSTRUCCIONES"** Ponencia presentada durante el seminario de Evaluación y Rehabilitación de Edificios .Ed Pere Roca Ediciones. Monografía CIMNE nº 65
- 49 CLIFTON, J. R. (1990) **"METHODS FOR PREDICTING THE REMAINING SERVICE LIFE OF CONCRETE"**. Proc. 5th International Conference - **DURABILITY OF BUILDING MATERIAL AND COMPONENTS**, Brighton, Reino Unido.
- 50 A.DELIBES, J. FERNANDEZ GÓMEZ. (1993) **"INVESTIGACION SOBRE REPARACIÓN DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO DAÑADAS POR CORROSIÓN DE ARMADURAS"**, Hormigón y Acero.
- 51 ANDRADE, CARMEN. (1998) **"MONITORING TECHNIQUES"**. Report of the Tech. Comm. 60-CSC RILEM - CORROSIÓN of steel in concrete. Ed. P. Schiessl, Londres, Reino Unido.
- 52 GONZÁLEZ, J. A., and ANDRADE, C. **"RELACIONES CUANTITATIVAS ENTRE LA CARBONATACIÓN DEL HORMIGÓN Y LA CORROSIÓN DE LAS ARMADURAS."** CORROSIÓN Protection, Vol 11, (1980), 15-24
- 53 GONZÁLEZ, J. A., ANDRADE, C. AND ESCUDERO, M. L. **"CORROSIÓN EN HORMIGÓN: CORROSIÓN DE LAS ARMADURAS POR CARBONATACIÓN DEL HORMIGÓN"**. Revista Iberoamericana de Corrosión y Protección, Vol. 15 No. 4, (1984)11-19
- 54 FERNÁNDEZ CÁNOVAS M. (1989), **"HORMIGÓN"**, 364-400. Madrid: E.T.S. Ingenieros de Caminos.
- 55 EHE 08. INSTRUCCIÓN DEL HORMIGON ESTRUCTURAL. Comisión permanente del hormigón. Ministerio de Fomento, 2008 (RD 1247/2008, de 18 Julio).
- 56 CEB Comité Euro-International du Béton (1998), **"STRATEGIES FOR TESTING AND ASSESSMENT OF CONCRETE STRUCTURES. GUIDANCE REPORT"**. Boletín CEB nº 243. Lausanne.
- 57 E. RAMIREZ. (1994). **"CORROSIÓN DE LAS ARMADURAS EMBEBIDAS EN HORMIGÓN EN AMBIENTES DE EXTREMA AGRESIVIDAD. POSIBILIDADES DE PROTECCIÓN MEDIANTE INHIBIDORES"**. Tesis doctoral. Univ Complutense de Madrid.
- 58 LINARES, DOUGLAS y SANCHEZ, MIGUEL (2003). **CONSTRUCCIÓN, OPERACIÓN Y PUESTA EN FUNCIONAMIENTO DE UNA CÁMARA PARA CARBONATACIÓN ACELERADA**. Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia,vol.26, no.1, p.34-44. ISSN 0254-0770.. "



- 59 TORRES ACOSTA, Andrés A. **CONSECUENCIAS ESTRUCTURALES DE LA CORROSIÓN EN HORMIGÓN ARMADO.** *Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia*, nov. 2007, vol.30, nº.Especial, p.245-251. ISSN 0254-0770.ç
- 60 MILLANO, Valentina, SANCHEZ, Miguel, RINCON, Oladis T *et al.* **ELECTROCHEMICAL BEHAVIOR STUDY OF AISI 304 AND 316 IN CARBONATE OR CHLORIDE CONTAMINATED CONCRETE.** *Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia*, dic. 2006, vol.29, no.3, p.291-298. ISSN 0254-0770.
- 61 MORON, Oleyda, DE RINCON, Oladis, GARCIA, César *et al.* **DESARROLLO DE UN MODELO PARA PREDECIR LA DURABILIDAD DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO EN MEDIOS MARINOS.** *Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia*, ago. 2003, vol.26, no.2, p.65-77. ISSN 0254-0770.
- 62 SCHIESSL, P *et al* en su publicación **“CORROSIÓN OF REINFORCEMENT”** para el comité Euro-Internacional del hormigón CEB.
- 63 J.A GONZÁLES,(1998) **“ CONSIDERACIONES SOBRE LA EFICACIA DE LA REALCANIZACION COMO MÉTODO DE REHABILITACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS CORROÍDAS DE HORMIGÓN ARMADO”** Curso de patologías de materiales y estructuras de edificación. Escuela Universitaria de Arquitectura técnica de Madrid.
- 64 DE VERA, G (2000) **“INGRESO DE CLORUROS EN HORMIGÓN. MÉTODOS DE ANÁLISIS, DETECCIÓN NO DESTRUCTIVA Y MODELIZACIÓN DEL TRANSPORTE TRAS UN APOORTE INICIAL LIMITADO”.** Universidad de Alicante.
- 65 J.M. MIRANDA*, E. OTERO" Y J.A. GONZÁLEZ. **“REFLEXIONES SOBRE LOS MÉTODOS ELECTROQUÍMICOS DE REHABILITACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO”.**
- 66 M VALDÉS y M VÁZQUEZ. **CORROSIÓN DE ARMADURAS EN HORMIGONES Y MORTEROS DE REPARACIÓN”.** **DIVISIÓN CORROSIÓN.** INTEMA. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Mar del Pata. J.B Justo 4302. B7608FDQ. Mar del Plata Argentina.
- 67 RAMÍREZ CRUZ ELMER. **“CORROSIÓN DE LAS ARMADURAS EMBEBIDAS EN HORMIGÓN EN AMBIENTES DE EXTREMA AGRESIVIDAD. POSIBILIDAD DE PROTECCIÓN MEDIANTE INHIBIDORES.”** Tesis Doctoral. Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas. CSIC Madrid 1994.
- 68 A. VICO, W. MORRIS, M VÁZQUEZ. (Septiembre 2001) **“DURABILIDAD DEL HORMIGÓN EN AMBIENTE MARINO. VIDA UTIL DE DISTINTOS RECUBRIMIENTOS DE ARMADURAS.”** División Corrosión INTEMA. Univ. Mar del Plata. B7608FDQ.
- 69 DIEGO VILLALÓN *et al.* **“UTILIZACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE NUEVOS PUENTES”** Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (CSIC) Madrid, España.
- 70 GENER BASALLOTE, JOSÉ MARÍA. (2008) Cádiz. **“LA ISLA DE SAN SEBASTIAN Y SUS FORTIFICACIONES” ESTUDIO HISTORICO Y ARTISTICO.”**



- 71 BERMUDEZ ODRIÓZOLA, MIGUEL ÁNGEL Y ALAEJOS GUTIERREZ, PILAR. **“PERMEABILIDAD A LOS CLORUROS DEL HORMIGÓN ARMADO SITUADO EN AMBIENTE MARINO SUMERGIDO”**. Rev. in. constr. [online]. 2007, vol.22, n.1, pp. 15-22. ISSN 0718-5073. doi: 10.4067/S0718-50732007000100002.
- 72 HUETE FUERTES RICARDO, RUBIO DE HITA PALOMA, RODRÍGUEZ LIÑAN, CARMEN. **“APLICACIÓN DE LOS METODOS DE ULTRASONIDO A LA VERIFICACIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN”** Revista de la Edificación RE. Nº13, Marzo 1993
- 73 POPOVICS JOHN S. **“ULTRASONIC TESTING OF CONCRETE STRUCTURES”**. Materials Evaluation. January 2005.
- 74 M. OLIVARES SANTIAGO, C. GALÁN MARÍN, J.ROA FERNANDEZ. **“LOS COMPOSITES CARACTERÍSTICAS Y APLICACIONES EN LA EDIFICACIÓN”**. Dep. Construcciones arquitectónicas I. Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Universidad de Sevilla.
- 75 **PULTRUSYSTEMS. REDONDOS TÉCNICO HOMOLOGADOS RTHP**. [en línea] [consultado en 10 Febrero 2013] [disponible en <http://www.rthpultsystems.es/img/RTHp.pdf>].
- 76 Revista ALCONPAT, Volumen 3, Número 2, Mayo - Agosto 2013, Páginas 82 - 101 **“ESPECIFICACIONES DE CÁLCULO DE LA VIDA ÚTIL Y ESTADO LÍMITE DE CORROSIÓN”**. C. Andrade¹ IETcc-CSIC-España, E-mail: andrade@ietcc.csic.es, Web: <http://www.ietcc.csic.es/index.php/es/> © 2013 ALCONPAT Internacional Revista de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción.
- 77 J. FERNÁNDEZ GÓMEZ, P LÓPEZ SÁNCHEZ, A. DELIBES. **“UNA INVESTIGACIÓN SOBRE LA EFICACIA DE LOS DISTINTOS SISTEMAS DE REPARACIÓN DE ESTRUCTURAS DAÑADAS POR CORROSIÓN”**. Cuadernos INTEMAC nº30, 2º trimestre 1998.
- 78 CASTELLOTE, MARTA y ANDRADE, CARMEN. **MODELAMIENTO DEL PROCESO DE CARBONATACIÓN DEL HORMIGÓN (UR-CORE)**, con datos de conversión fraccional obtenidos a través de experimentos de difracción de neutrones monitoreados in-situ. *Rev. ing. constr.* [online]. 2009, vol.24, n.3 [citado 2015-07-22], pp. 245-258 . Disponible en: <http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-507320090003000003&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0718-5073. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-507320090003000003>.
- 79 FIGUEROA DE GIL, YELITZA et al. **ESTUDIO DE CORROSIÓN EN IMPLANTE FEMORAL**. Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia, Maracaibo, v. 30, n. Especial, nov. 2007 . Disponible en <http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702007000400017&lng=es&nrm=iso>. accedido en 18 agosto 2015.



- 80 DIRECCION GENERAL DE SOSTENIBILIDAD DE LA COSTA Y EL MAR. MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, MEDIO RURAL Y MARINO. **PROYECTO BÁSICO Y DE EJECUCIÓN DE RESTAURACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL POLVORÍN Y DE LA TORRE DE VIGILANCIA EN LA AVANZADA DE SANTA ISABEL.** Castillo de San Sebastián. Cádiz
- 81 Geocisa. **ANÁLISIS DE ESTABILIDAD PARA LA REHABILITACIÓN DEL CASTILLO DE SAN SEBASTIÁN** (Cádiz). (09/2009). Ref 14551.
- 82 Ayesa . **PROYECTO DE REHABILITACIÓN DE LA TORRE VIGÍA EN EL CASTILLO DE SAN SEBASTIÁN** (Cádiz). (08/2010).
- 83 Tragsatec. **PROYECTO BÁSICO Y DE REHABILITACIÓN DE LA VILLA “EL CASTILLITO” PARA AMPLIACIÓN DE CENTRO I.F.A.P.A SANLÚCAR DE BARRAMEDA** (Cádiz) Junio 2014.
- 84 Songea. **INFORME DE IDENTIFICACIÓN Y CONTROL DE SISTEMA ESTRUCTURAL PARA LA REDACCIÓN DE PROYECTO BÁSICO Y DE EJECUCIÓN. VILLA EL CASTILLITO.** Bajo de Guía. Sanlúcar de Barrameda. Cádiz. 2014 ref 1404.21.
- 85 Vorsevi. **INFORME DE ANOMALÍAS. CANAL CALZAS ANCHAS** (Utrera). (01/04/2014). Ref: 40052341-01.2
- 86 Ayesa. **INFORME SOBRE EL COLAPSO ESTRUCTURAL DE MUROS EN DESVÍO ARROYO CALZAS ANCHAS.** T.M Utrera (Sevilla). (2014) .
- 87 DIRECCIÓN GENERAL DEL AGUA/ CONFEDERACIÓN HIDROGRAFICA DEL GUADALQUIVIR. LLAMAZARES GARCÍA-LOMAS. MIGUEL ANGEL. **PROYECTO DE REFUERZO ESTRUCTURAL DEL CANAL DE DESVÍO DEL ARROYO DE CALZAS ANCHAS. T.M DE UTRERA** (Sevilla) (06/2014)
- 88 M. J. Sánchez (*) , P. Garcés(*) y M. A. Climent(*) **“EXTRACCIÓN ELECTROQUÍMICA DE CLORUROS DEL HORMIGÓN ARMADO: ESTUDIO DE DIFERENTES VARIABLES QUE INFLUYEN EN LA EFICIENCIA DEL TRATAMIENTO”**. Materiales de Construcción Vol. 56, 284, 17-26 octubre-diciembre 2006 ISSN: 0465-2746
- 89 Revista de Metalurgia. **“REFLEXIONES SOBRE LOS MÉTODOS ELECTROQUÍMICOS DE REHABILITACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS CORROÍDAS DE HORMIGÓN ARMADO”** J.M. Miranda*, E. Otero" y J.A. González" [en línea] [consultado en 07 de Marzo 2013] [disponible en <http://revistademetalurgia.revistas.csic.es/index.php/revistademetalurgia/article/viewFile/1039/1051>].
- 90 A. COBO (1), M. I. PRIETO (2), M. N. GONZÁLEZ (3) (1) (2). **“LA EXTRACCIÓN ELECTROQUÍMICA DE CLORUROS COMO TÉCNICA DE REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO”**. Departamento de Tecnología de la Edificación. Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica. Universidad Politécnica de Madrid. Avda. Juan de Herrera, 6, 28040, Madrid, España.
- 91 COBO ESCAMILLA. ALFONSO. Tesis Doctoral: **“COMPROBACIÓN DE LA EFICACIA DE LA REALCANIZACIÓN Y DE LA EXTRACCIÓN ELECTROQUÍMICA DE CLORUROS COMO MÉTODOS DE REHABILITACIÓN DE LAS**



- ESTRUCTURAS CORROÍDAS DE HORMIGÓN ARMADO**".[en línea][consultado en 10 de Marzo 2014]
[disponible en: http://oa.upm.es/9782/1/Alfonso_Cobo_Escamilla.pdf.
- 92 ALFONSO COBO*, MARÍA NIEVES GONZÁLEZ*, EDUARDO OTERO** Y JOSÉ ANTONIO GONZÁLEZ*: **CONSIDERACIONES SOBRE LA REPASIVACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS CORROÍDAS DE HORMIGÓN ARMADO**. [en línea] [consultado en 07 de Marzo 2013] [disponible en <http://revistademetalurgia.revistas.csic.es/index.php/revistademetalurgia/article/viewFile/569/579>]
- 93 F.J. RECIO , L. GAILLET Y M.C. ALONSO. **CORROSIÓN DE TENDONES DE ACERO GALVANIZADO EN MEDIOS ALCALINOS. EVALUACIÓN DEL RIESGO DE FRAGILIZACIÓN POR HIDRÓGENO**, Departamento MACOA Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC) Route de Bouyage BP 4129 44341, Bougenais Cedex Nantes (Francia)
- 94 EL HORMIGON ROMANO. ARGAMASA. [en línea][disponible en [:http://histarcon.blogspot.com.es/2014/03/el-hormigon-romano-argamasa.html](http://histarcon.blogspot.com.es/2014/03/el-hormigon-romano-argamasa.html)][consultado en 07/2014].
- 95 VICO A MORRIS W, M.VAZQUEZ." **EVALUACIÓN DEL AVANCE DE LA CORROSIÓN DE REFUERZOS EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN**". Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Mar del Plata- Argentina.
- 96 JORGE LEY URZAIZ. **"TECNICAS DE REPARACIÓN I Y II"**. Instituto Técnico de materiales y construcciones, S.A (INTEMAC).
- 97 ZHANG,R; CASEL, A, FRANÇOIS, R. **" CONCRETE COVER CRACKING WITH REINFORCEMENT CORROSION OF RC BEAM DURING CHLORIDE-INDUCED CORROSION PROCESS"** Cement and Concree Research 2010, 40: 415-425.
- 98 SERGY,G; YU, S. W. Y PAGE, C.L **"DIFFUSION OF CHLORIDE AND HYDROXYL IONS IN CEMENTITIOUS MAERIALS EXPOSED TO A SALINE ENVIRONMENT"**. Concrete Research 1992, 44:63-63.
- 99 CORDERO, M y APARICIO, A.C. **"ESTUDIO DE LA DIFUSION DE CLORUROS EN EL HORMIGON PRETENSADO"**. Congreso de ACHE de puentes y estructuras. Las estructura del siglo XXI (Zaragoza, Noviembre 2005). Asociación Científico-Técnica del Hormigón Estructural (ACHE), 2005.
- 100 FERNANDEZ RUIZ, M. **"MODELOS DE DISFUSIÓN DE HUMEDAD EN EL HORMIGÓN"** Ingeniería Civil 2004 , nº133.
- 101 SOLANO RODRIGUEZ, SERGIO ALBERTO; ESTUPIÑAN DURÁN, HUGO ARMANDO; VASQUEZ QUINTERO, CUSTODIO; PEÑA BALLESTEROS, DARIO YESID. **" SIMULACIÓN DE LA DIFUCIÓN DEL CL⁻ HASTA LA DESPASIVACIÓN DEL ACERO DE REFUERZO EN CONCRETO DE MICROSILICE EXPUESTO A CARBONATACIÓN."**. Boletín de Ciencias de la Tierra, nº 34 diciembre, 2013, pp. 15-24. Universidad Nacional de Colombia, Medellín. Colombia. [en línea] [Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169530075002>].
- 102 BALAGUERA, D. PORRAS, B (2009) **"EVALUACION DEL EFECTO DE LA CARBONATACIÓN SOBRE EL COEFICIENE DE DIFUSIÓN DEL ION CLORURO EN EL CONCRETO"**. Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales. Universidad Industrial de Santander. Colombia.



- 103 ANDRADE, C y FELIU, S (1989) **“MANUAL DE INSPECCIÓN DE OBRAS DAÑADAS POR CORROSIÓN DE ARMADURAS”** Publicado por ICCT, Madrid, España.
- 104 DEL VALLE A, 2000. **“METODOS DE PREVENCIÓN Y PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN”**. Memorias del tercer curso internacional sobre corrosión en puentes y estructural concreto metal. CST, IMT, Veracruz, México. ISSN 0188-7297, pp. 73-83.
- 105 MORENO EI., DOMINGUEZ GG., COB E.J., DUARTE F. (2004) **“EFECTO DE LA RELACIÓN AGUA/CEMENTO EN LA VELOCIDAD DE CARBONATACIÓN DEL CONCRTEO UTILIZANDO UNA CAMARA DE ACELERACIÓN”**. Ingeniería 8-2, 117-130.
- 106 P. ANZALOTE. **“ARMADURAS RECUBIERTAS CON EPOXI”**. Revista Zuncho. Calidad Siderúrgica, S.L. Nº 11, PP. 18-21 (2007).
- 107 J. ORTE CRESPO. **“SISTEMAS DE PROTECCIÓN MEDIANTE EL USO DE INHIBIDORES DE CORROSION MIGRATORIOS”**. Calidad Siderúrgica S.L. Revista Zuncho, Nº11, pp. 22-27 (2007).
- 108 C. MONTICELLI, A. FRIGNANI, G. TRABANELLI **“A STUDY ON CORROSION INHIBITORS FOR CONCRETE APPLICATION”**. Cement and Concrete Research. Vol 30 pp. 635-642 (2000)
- 109 GONZALES DE LA COTERA S. MANUEL. **“ LA CORROSION DEL CONCRETO EN AMBIENTE MARINO”** Conferencia del I Congreso Nacional de Ingeniería Estructural y Construcción (1998).
- 110 ANDRADE, C; GONZALES, J.A. **“TENDENCIAS ACTUALES EN LA INVESTIGACIÓN SOBRE CORROSIÓN DE ARMADURAS”** (1988). Centro de Investigaciones Metalúrgicas/CSIC. España.
- 111 SEMINARIO Nº13. INSPECCIÓN, DIAGNOSTICO Y EVALUCACIÓN DE ESTRUCTURAS EXISTENTES Y CORROIDAS DE HORMIGON. (2012). Instituto ciencias de la construcción Eduardo Torroja IETcc- CSIC.
- 112 M.A.B. ZAMORA, D.N. MENDOZA, H.H. ZAMORA, F.A. CALDERÓN.” **MONITORING OF CORROSION POTENTIAL AND MECHANICAL RESISTANCE OF CONTAMINATED CONCRETE EXPOSED TO A CHLORINATED ENVIRONMENT”**. (2008).
- 113 DIAZ-BENITO, B; VELASCO,F; GUZMAN,S; CALABRES,R. **“ESUDIO MEDIANTE AFM DE LA CORROSIÓN DE ACEROS EN DISOLUCIONES DE FASE ACUOSA DEL HORMIGÓN. MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN. VOL 61,301,27-37. ENERO/MARZO 2011 ISSN: 0465-2746.**
- 114 BERMUDEZ ODRIÓZOLA, MIGUEL ANGEL; ALAEJOS GUTIERREZ, PILAR. **“PERMEABILIDAD A LOS CLORUROS DEL HORMIGON ARMADO SITUADO EN AMBIENTE MARINO SUMERGIDO”** (2007), Laboratorio Central de estructuras y materiales. CEDEX, Madrid, España.
- 115 CONTECVET. **“MANUAL DE EVALUACION DE ESTRUCTURAS AFECTADAS POR CORROSIÓN DE LA ARMADURA.”** IN 30902I. GEOCISA
- 116 ANDRADE PERDRIX, CARMEN; MARTINEZ MARIN, EDUARDO. **“MODELADO DEL EFECTO DE LAS ACCIONES CLIMÁTICAS EN LA CANIDAD DE AGUA EN ESTADO LIQUIDO DEL HORMIGON PARA LA ESIMACIÓN DE LA CORROSIÓN DE LA ARMADURA”**. (2005). Departamento de Ingeniería Civil: Hidráulica y Energética. Universidad Politécnica de Madrid.



- ¹¹⁷ CHICO,B; OTERO,E; MARIACA,L; MORCILLO.M. “ **LA CORROSIÓN EN ATMOSFERAS MARINAS. EFECTO DE LA DISTANCIA A LA COSTA**”. Revista de metalurgia CSIC:
- ¹¹⁸ IZQUIERDO LOPEZ, DAVID. TESIS DOCTORAL “**BASES DE DISEÑO PARA UN TRATAMIENTO PROBABILISTA DE LOS PROCESOS DE CORROSION DE LA ARMADURA EN EL HORMIGON**”. Universidad Politécnica de Madrid.
- ¹¹⁹ HWAN OH.B Y SEOK JANG,B.(2003) “**CHLORIDE DIFFUSION ANALYSIS OF CONCRETE STRUCTURES CONSIDERING EFFECTS OF REINFORCEMENTS**”. ACI MATERIAL JOURNAL. MARCH-APRIL 143-149.
- ¹²⁰ MOHAMMED, T.U., HAMADA,H. Y YAMAJI,T. (2004). “CONCRETE AFTER 30 YEARS OF EXPOSURE- PART II. CHLORIDE INGRESS AND CORROSION OF STEEL BARS” . ACI MATERIALS JOURNAL, Nº1 JANUARY-FEBRUARY. 13-18.
- ¹²¹ MOHAMMED, T.U Y HAMADA, H (2003). “RELATIONSHIP BETWEEN FREE CHLORIDE AND TOTAL CHLORIDE CONTENTS IN CONCRETE”. CEMENT AND CONCRETE RESEARCH. VOL 33 1487-1490.



CAPITULO 7 ANEJOS

ANEJO 01. NOTACIONES

<i>Notación</i>	<i>Descripción</i>
I	<i>Intensidad</i>
t	<i>tiempo</i>
K	<i>Constante de carbonatación</i>
w	<i>Masa de metal corroído</i>
M	<i>Masa del átomo gramo del metal (g/mol)</i>
n	<i>Numero de electrones átomo producido o consumido en el proceso</i>
F	<i>Constante de Faraday (96500 coulombs/mol)</i>
C	<i>Concentración de cloro a una profundidad X</i>
D_c	<i>Coeficiente de difusión</i>
C_o	<i>Concentración de equilibrio de cloro de la superficie del hormigón.</i>
Erf	<i>función de error.</i>
t_i	<i>Periodo de incubación.</i>
t_p	<i>Periodo de propagación</i>
a/c	<i>Relación agua/cemento</i>

Los resultados reflejados en este Acta solo afectan a la muestra ensayada. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización escrita de GEOCISA

Hoja 1 de 1

GEOCISA

ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS

PETICIONARIO: TECNOLOGIA Y SERVICIOS AGRARIOS,S.A (TRAGSATEC)

O.E.: 2761

DIRECCIÓN: C/JULIAN CAMARILLO,6--B;28037,MADRID

OBRA: CAMPAÑA ANALISIS ESTABILIDAD REHABILITACION CASTILLO SAN SEBASTIAN Y MALECON

CÓDIGO MUESTRA: .2009/7632

FECHA TOMA: 30/06/2009

FECHA REGISTRO: 07/07/2009

MODALIDAD DE MUESTREO: ML

MATERIAL DE LA MUESTRA: TESTIGO DE HORMIGON

DESCRIPCIÓN Y OTROS: TESTIGO DE HORMIGON D.170 MM

CÓDIGO ACTA (gral-obra): 2009/12277-16

FECHA ACTA: 20/07/2009

S/REF-PROCEDENCIA: HME-1

LOCALIZACIÓN:

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Tallado, refrentado y rotura a compresión de probetas-testigo (S/UNE EN 12504-1, UNE EN 12390-3)

FECHA INICIO/FIN

15-7-09

17-7-09

Nº testigo	Fecha de hormigonado	Diámetro (mm)(1)	Dirección de la carga respecto a hormigonado	Carga de rotura (kN)	Tensión de rotura (N/mm²)	Tensión de rotura corregida (N/mm²)(2)
7632		172		503	21.6	21.1

(1) Una vez tallados y refrentados

(2) Efectuada la corrección por esbeltez

Según el Artículo 89º de la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE) relativo a ensayos de información complementaria del hormigón, en su apartado de comentarios:"puede tenerse en cuenta que, por diferencia de compactación y otros efectos, las probetas-testigo presentan una resistencia al menos inferior al 10% respecto a las probetas moldeadas a igualdad de otros factores", por lo que podría aplicarse este coeficiente corrector a los resultados anteriores.

Observaciones:

JEFE DE ÁREA

Carrasco Olivares, Jose Angel

Madrid, 20 de julio de 2009



DIRECTOR DE LABORATORIO

Fernández Valero, J. Alberto

Modelo: HORM-ASFAL_Rev.2



Los resultados reflejados en este Acta solo afectan a la muestra ensayada. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización escrita de GEOCISA

GEOCISA		Hoja 1 de 1	
ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS			
PETICIONARIO: TECNOLOGIA Y SERVICIOS AGRARIOS, S.A (TRAGSATEC)		O.E.: 2761	
DIRECCIÓN: C/JULIAN CAMARILLO, 6-B; 28037, MADRID			
OBRA: CAMPAÑA ANALISIS ESTABILIDAD REHABILITACION CASTILLO SAN SEBASTIAN Y MALECON			
CÓDIGO MUESTRA: .2009/7632			
FECHA TOMA: 30/06/2009		FECHA REGISTRO: 07/07/2009	
MODALIDAD DE MUESTREO: ML			
MATERIAL DE LA MUESTRA: TESTIGO DE HORMIGON			
DESCRIPCIÓN Y OTROS: TESTIGO DE HORMIGON D.170 MM			
CÓDIGO ACTA (gral-obra): 2009/12278-17		FECHA ACTA: 20/07/2009	
S/REF-PROCEDENCIA: HME-1			
LOCALIZACIÓN:			
DATOS COMPLEMENTARIOS:			
Profundidad de carbonatación por el método de la fenolftaleína S/UNE EN 14630			
FECHA INICIO / FIN		15-7-09 15-7-09	
Profundidad mm		410	
JEFE DE ÁREA  Carrasco Olivares, José Ángel		Madrid, 20 de julio de 2009 DIRECTOR DE LABORATORIO  Fernández Valero, J. Alberto	





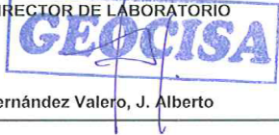


Los resultados reflejados en este Acta solo afectan a la muestra ensayada. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización escrita de GEOCISA

ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS		Hoja 1 de 1
PETICIONARIO: TECNOLOGIA Y SERVICIOS AGRARIOS, S.A (TRAGSATEC)		O.E.: 2761
DIRECCIÓN: C/JULIAN CAMARILLO, 6--B; 28037, MADRID		
OBRA: CAMPAÑA ANALISIS ESTABILIDAD REHABILITACION CASTILLO SAN SEBASTIAN Y MALECON		
CÓDIGO MUESTRA: .2009/7633		
FECHA TOMA: 30/06/2009		FECHA REGISTRO: 07/07/2009
MODALIDAD DE MUESTREO: ML		
MATERIAL DE LA MUESTRA: TESTIGO DE HORMIGON		
DESCRIPCIÓN Y OTROS: TESTIGO DE HORMIGON D.170 MM		
CÓDIGO ACTA (gral-obra): 2009/12290-18		FECHA ACTA: 20/07/2009
S/REF-PROCEDENCIA: HME-2		
LOCALIZACION:		
DATOS COMPLEMENTARIOS:		
Tallado, refrentado y rotura a compresión de probetas-testigo (S/UNE EN 12504-1, UNE EN 12390-3)		
FECHA INICIO/FIN		15-7-09 17-7-09
Nº testigo	Fecha de hormigonado	Diámetro (mm)(1)
7632		172
Dirección de la carga respecto a hormigonado	Carga de rotura (kN)	Tensión de rotura (N/mm²)
	415	17.9
		Tensión de rotura corregida (N/mm²)(2)
		17.2
(1) Una vez tallados y refrentados (2) Efectuada la corrección por esbeltez Según el Artículo 89º de la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE) relativo a ensayos de información complementaria del hormigón, en su apartado de comentarios: "puede tenerse en cuenta que, por diferencia de compactación y otros efectos, las probetas-testigo presentan una resistencia al menos inferior al 10% respecto a las probetas moldeadas a igualdad de otros factores", por lo que podría aplicarse este coeficiente corrector a los resultados anteriores.		
Observaciones:		
JEFE DE ÁREA Carrasco Olivares, Jose Angel		Madrid, 20 de julio de 2009 DIRECTOR DE LABORATORIO Fernández Valero, J. Alberto
Modelo: HORM-ASFAL_Rev 2		



Los resultados reflejados en este Acta solo afectan a la muestra ensayada. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización escrita de GEOCISA

 ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS		Hoja 1 de 1
PETICIONARIO: TECNOLOGIA Y SERVICIOS AGRARIOS, S.A (TRAGSATEC)		O.E.: 2761
DIRECCIÓN: C/JULIAN CAMARILLO, 6-B; 28037, MADRID		
OBRA: CAMPAÑA ANALISIS ESTABILIDAD REHABILITACION CASTILLO SAN SEBASTIAN Y MALECON		
CÓDIGO MUESTRA: .2009/7633		
FECHA TOMA:	30/06/2009	FECHA REGISTRO: 07/07/2009
MODALIDAD DE MUESTREO: ML		
MATERIAL DE LA MUESTRA: TESTIGO DE HORMIGON		
DESCRIPCIÓN Y OTROS: TESTIGO DE HORMIGON D.170 MM		
CÓDIGO ACTA (gral-obra): 2009/12292-20		FECHA ACTA: 20/07/2009
S/REF-PROCEDENCIA: HME-2		
LOCALIZACION:		
DATOS COMPLEMENTARIOS:		
Profundidad de carbonatación por el método de la fenolftaleína S/UNE EN 14630		
FECHA INICIO / FIN	15-7-09	15-7-09
Profundidad	mm	370
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: flex-end; margin-top: 20px;"> <div style="text-align: center;"> <p>JEFE DE ÁREA</p>  <p>Carrasco Olivares, José Ángel</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Madrid, 20 de julio de 2009</p> <p>DIRECTOR DE LABORATORIO</p>  <p>Fernández Valero, J. Alberto</p> </div> </div>		



Los resultados reflejados en este Acta solo afectan a la muestra ensayada. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización escrita de GEOCISA.

Hoja 1 de 1

ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS

PETICIONARIO: TECNOLOGIA Y SERVICIOS AGRARIOS, S.A (TRAGSATEC)		O.E.: 2761
DIRECCIÓN: C/JULIAN CAMARILLO, 6--B; 28037, MADRID		
OBRA: CAMPAÑA ANALISIS ESTABILIDAD REHABILITACION CASTILLO SAN SEBASTIAN Y MALECON		
CÓDIGO MUESTRA:	.2009/7634	
FECHA TOMA:	30/06/2009	FECHA REGISTRO: 07/07/2009
MODALIDAD DE MUESTREO:	ML	
MATERIAL DE LA MUESTRA:	TESTIGO DE HORMIGON	
DESCRIPCIÓN Y OTROS:	TESTIGO DE HORMIGON D.143 MM	

CÓDIGO ACTA (gral-obra):	2009/12293-21	FECHA ACTA:	20/07/2009
S/REF-PROCEDENCIA: HME-3			
LOCALIZACIÓN:			
DATOS COMPLEMENTARIOS:			

Tallado, refrentado y rotura a compresión de probetas-testigo (S/UNE EN 12504-1, UNE EN 12390-3)		
FECHA INICIO/FIN	15-7-09	17-7-09

Nº testigo	Fecha de hormigonado	Diámetro (mm)(1)	Dirección de la carga respecto a hormigonado	Carga de rotura (kN)	Tensión de rotura (N/mm²)	Tensión de rotura corregida (N/mm²)(2)
7634		143		331	20.6	20.6

(1) Una vez tallados y refrentados
 (2) Efectuada la corrección por esbeltez

Según el Artículo 89º de la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE) relativo a ensayos de información complementaria del hormigón, en su apartado de comentarios: "puede tenerse en cuenta que, por diferencia de compactación y otros efectos, las probetas-testigo presentan una resistencia al menos inferior al 10% respecto a las probetas moldeadas a igualdad de otros factores", por lo que podría aplicarse este coeficiente corrector a los resultados anteriores.

Observaciones:

JEFE DE ÁREA

Carrasco Olivares, Jose Angel

Madrid, 20 de julio de 2009

DIRECTOR DE LABORATORIO



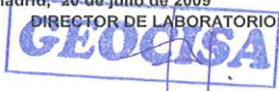
Fernández Valero, J. Alberto

Modelo: HORM-ASFAL_Rev.2





Los resultados reflejados en este Acta solo afectan a la muestra ensayada. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización escrita de GEOCISA.

 ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS		Hoja 1 de 1
PETICIONARIO: TECNOLOGIA Y SERVICIOS AGRARIOS, S.A (TRAGSATEC)		O.E.: 2761
DIRECCIÓN: C/JULIAN CAMARILLO, 6-B; 28037, MADRID		
OBRA: CAMPAÑA ANALISIS ESTABILIDAD REHABILITACION CASTILLO SAN SEBASTIAN Y MALECON		
CÓDIGO MUESTRA:	2009/7634	
FECHA TOMA:	30/06/2009	FECHA REGISTRO: 07/07/2009
MODALIDAD DE MUESTREO:	ML	
MATERIAL DE LA MUESTRA:	TESTIGO DE HORMIGON	
DESCRIPCIÓN Y OTROS:	TESTIGO DE HORMIGON D.143 MM	
CÓDIGO ACTA (gral-obra):	2009/12294-22	FECHA ACTA: 20/07/2009
S/REF-PROCEDENCIA:	HME-3	
LOCALIZACION:		
DATOS COMPLEMENTARIOS:		
Profundidad de carbonatación por el método de la fenolftaleína S/UNE EN 14630		
FECHA INICIO / FIN	15-7-09	17-7-09
Profundidad	mm	44
JEFE DE ÁREA  Carrasco Olivares, José Ángel		Madrid, 20 de julio de 2009 DIRECTOR DE LABORATORIO  Fernández Valero, J. Alberto



Los resultados reflejados en este Acta solo afectan a la muestra ensayada. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización escrita de GEOCISA

Hoja 1 de 1

GEOCISA

ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS

PETICIONARIO: TECNOLOGÍA Y SERVICIOS AGRARIOS, S.A (TRAGSATEC)		O.E.: 2761
DIRECCIÓN: C/JULIAN CAMARILLO, 6-B; 28037, MADRID		
OBRA: CAMPAÑA ANALISIS ESTABILIDAD REHABILITACION CASTILLO SAN SEBASTIAN Y MALECON		
CÓDIGO MUESTRA:	.2009/7635	
FECHA TOMA:	30/06/2009	FECHA REGISTRO: 07/07/2009
MODALIDAD DE MUESTREO:	ML	
MATERIAL DE LA MUESTRA:	TESTIGO DE HORMIGON	
DESCRIPCIÓN Y OTROS:	TESTIGO DE HORMIGON D.143 MM	
CÓDIGO ACTA (gral-obra):	2009/12295-23	FECHA ACTA: 20/07/2009
S/REF-PROCEDENCIA:	HME-4	
LOCALIZACION:		
DATOS COMPLEMENTARIOS:		

Tallado, refrentado y rotura a compresión de probetas-testigo (S/UNE EN 12504-1, UNE EN 12390-3)		
FECHA INICIO/FIN	15-7-09	17-7-09

Nº testigo	Fecha de hormigonado	Diámetro (mm)(1)	Dirección de la carga respecto a hormigonado	Carga de rotura (kN)	Tensión de rotura (N/mm²)	Tensión de rotura corregida (N/mm²)(2)
7635		143		418	26	25.7

(1) Una vez tallados y refrentados
 (2) Efectuada la corrección por esbeltez

Según el Artículo 89º de la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE) relativo a ensayos de información complementaria del hormigón, en su apartado de comentarios: "puede tenerse en cuenta que, por diferencia de compactación y otros efectos, las probetas-testigo presentan una resistencia al menos inferior al 10% respecto a las probetas moldeadas a igualdad de otros factores", por lo que podría aplicarse este coeficiente corrector a los resultados anteriores.

Observaciones:

JEFE DE ÁREA

Carrasco Olivares, Jose Angel

Madrid, 20 de julio de 2009

DIRECTOR DE LABORATORIO

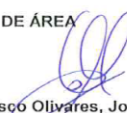
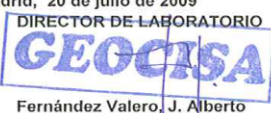
Fernández Valero, J. Alberto

Modelo: HORM-ASFAL_Rev 2

Geotecnia y Cimientos S.A. C/Los Llanos de Jerez 10-12- 28823 Coslada (Madrid) Teléfono 91 650 300 00 - Fax 91 671 64 60
 Laboratorio Central de Geocisa en Coslada



Los resultados reflejados en este Acta solo afectan a la muestra ensayada. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización escrita de GEOCISA

GEOCISA		Hoja 1 de 1	
ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS			
PETICIONARIO: TECNOLOGIA Y SERVICIOS AGRARIOS, S.A (TRAGSATEC)		O.E.: 2761	
DIRECCIÓN: C/JULIAN CAMARILLO, 6--B; 28037, MADRID			
OBRA: CAMPAÑA ANALISIS ESTABILIDAD REHABILITACION CASTILLO SAN SEBASTIAN Y MALECON			
CÓDIGO MUESTRA: .2009/7635			
FECHA TOMA: 30/06/2009		FECHA REGISTRO: 07/07/2009	
MODALIDAD DE MUESTREO: ML			
MATERIAL DE LA MUESTRA: TESTIGO DE HORMIGON			
DESCRIPCIÓN Y OTROS: TESTIGO DE HORMIGON D.143 MM			
CÓDIGO ACTA (gral-obra): 2009/12296-24		FECHA ACTA: 20/07/2009	
S/REF-PROCEDENCIA: HME-4			
LOCALIZACION:			
DATOS COMPLEMENTARIOS:			
Profundidad de carbonatación por el método de la fenolftaleína S/UNE EN 14630			
FECHA INICIO / FIN		15-7-09 15-7-09	
Profundidad mm		35	
JEFE DE ÁREA  Carrasco Olivares, José Ángel		Madrid, 20 de julio de 2009 DIRECTOR DE LABORATORIO  Fernández Valero, J. Alberto	



Los resultados reflejados en este Acta solo afectan a la muestra ensayada. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización escrita de GEOCISA.

ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS		Hoja 1 de 1
PETICIONARIO: TECNOLOGIA Y SERVICIOS AGRARIOS, S.A (TRAGSATEC)		O.E.: 2761
DIRECCIÓN: C/JULIAN CAMARILLO, 6-B; 28037, MADRID		
OBRA: CAMPAÑA ANALISIS ESTABILIDAD REHABILITACION CASTILLO SAN SEBASTIAN Y MALECON		
CÓDIGO MUESTRA: .2009/7636		
FECHA TOMA: 30/06/2009		FECHA REGISTRO: 07/07/2009
MODALIDAD DE MUESTREO: ML		
MATERIAL DE LA MUESTRA: TESTIGO DE HORMIGON		
DESCRIPCIÓN Y OTROS: TESTIGO DE HORMIGON D.143 MM		
CÓDIGO ACTA (gral-obra): 2009/12297-25		FECHA ACTA: 20/07/2009
S/REF-PROCEDENCIA: HME-5		
LOCALIZACIÓN:		
DATOS COMPLEMENTARIOS:		
Tallado, refrentado y rotura a compresión de probetas-testigo (S/UNE EN 12504-1, UNE EN 12390-3)		
FECHA INICIO/FIN		15-7-09 17-7-09
Nº testigo	Fecha de hormigonado	Diámetro (mm)(1)
7636		143
Dirección de la carga respecto a hormigonado	Carga de rotura (kN)	Tensión de rotura (N/mm²)
302	18.8	18.0
Tensión de rotura corregida (N/mm²)(2)		
(1) Una vez tallados y refrentados (2) Efectuada la corrección por esbeltez Según el Artículo 89º de la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE) relativo a ensayos de información complementaria del hormigón, en su apartado de comentarios: "puede tenerse en cuenta que, por diferencia de compactación y otros efectos, las probetas-testigo presentan una resistencia al menos inferior al 10% respecto a las probetas moldeadas a igualdad de otros factores", por lo que podría aplicarse este coeficiente corrector a los resultados anteriores.		
Observaciones:		
JEFE DE ÁREA Carrasco Ojales, Jose Angel		Madrid, 20 de julio de 2009 DIRECTOR DE LABORATORIO Fernández Valero, J. Alberto
Modelo: HORM-ASFAL_Rev.2		

Hoja 1 de 1

GEOCISA

ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS

PETICIONARIO: TECNOLOGIA Y SERVICIOS AGRARIOS, S.A (TRAGSATEC)

O.E.: 2761

DIRECCIÓN: C/JULIAN CAMARILLO, 6-B; 28037, MADRID

OBRA: CAMPAÑA ANALISIS ESTABILIDAD REHABILITACION CASTILLO SAN SEBASTIAN Y MALECON

CÓDIGO MUESTRA: .2009/7636

FECHA TOMA: 30/06/2009

FECHA REGISTRO: 07/07/2009

MODALIDAD DE MUESTREO: ML

MATERIAL DE LA MUESTRA: TESTIGO DE HORMIGON

DESCRIPCIÓN Y OTROS: TESTIGO DE HORMIGON D.143 MM

CÓDIGO ACTA (gral-obra): 2009/12298-26

FECHA ACTA: 20/07/2009

S/REF-PROCEDENCIA: HME-5

LOCALIZACION:

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Profundidad de carbonatación por el método de la fenolftaleína S/UNE EN 14630

FECHA INICIO / FIN

15-7-09

15-7-09

Profundidad

mm

50

JEFE DE ÁREA

Carrasco Olivares, José Ángel

Madrid, 20 de julio de 2009

DIRECTOR DE LABORATORIO

GEOCISA

Fernández Valero, J. Alberto



Los resultados reflejados en este Acta solo afectan a la muestra ensayada. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización escrita de GEOCISA

Hoja 1 de 1

ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS

PETICIONARIO: TECNOLOGIA Y SERVICIOS AGRARIOS, S.A (TRAGSATEC)		O.E.: 2761
DIRECCIÓN: C/JULIAN CAMARILLO, 6--B; 28037, MADRID		
OBRA: CAMPAÑA ANALISIS ESTABILIDAD REHABILITACION CASTILLO SAN SEBASTIAN Y MALECON		
CÓDIGO MUESTRA:	.2009/7637	
FECHA TOMA:	30/06/2009	FECHA REGISTRO: 07/07/2009
MODALIDAD DE MUESTREO:	ML	
MATERIAL DE LA MUESTRA:	TESTIGO DE HORMIGON	
DESCRIPCIÓN Y OTROS:	TESTIGO DE HORMIGON D. 100 MM	
CÓDIGO ACTA (gral-obra):	2009/12299-27	FECHA ACTA: 20/07/2009
S/REF-PROCEDENCIA:	HME-6	
LOCALIZACION:		
DATOS COMPLEMENTARIOS:		

Tallado, refrentado y rotura a compresión de probetas-testigo (S/UNE EN 12504-1, UNE EN 12390-3)		
FECHA INICIO/FIN	15-7-09	17-7-09

Nº testigo	Fecha de hormigonado	Diámetro (mm)(1)	Dirección de la carga respecto a hormigonado	Carga de rotura (kN)	Tensión de rotura (N/mm²)	Tensión de rotura corregida (N/mm²)(2)
7637		100		142	18.2	18.0

(1) Una vez tallados y refrentados
 (2) Efectuada la corrección por esbeltez

Según el Artículo 89º de la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE) relativo a ensayos de información complementaria del hormigón, en su apartado de comentarios: "puede tenerse en cuenta que, por diferencia de compactación y otros efectos, las probetas-testigo presentan una resistencia al menos inferior al 10% respecto a las probetas moldeadas a igualdad de otros factores", por lo que podría aplicarse este coeficiente corrector a los resultados anteriores.

Observaciones:

JEFE DE ÁREA

Carrasco Olivares, Jose Angel

Madrid, 20 de julio de 2009

DIRECTOR DE LABORATORIO



Fernández Valero, J. Alberto

Modelo: HORM-ASFAL_Rev 2

Geotecnia y Cimientos S.A. C/ Los Llanos de Jerez. 10-12- 28823 Coslada (Madrid) Teléfono 91 660 300 00 - Fax 91 671 64 60
 Laboratorio Central de Geocisa en, Coslada.



Los resultados reflejados en este Acta solo afectan a la muestra ensayada. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización escrita de GEOCISA.

GEOCISA		Hoja 1 de 1	
ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS			
PETICIONARIO: TECNOLOGIA Y SERVICIOS AGRARIOS, S.A (TRAGSATEC)		O.E.: 2761	
DIRECCIÓN: C/JULIAN CAMARILLO, 6--B; 28037, MADRID			
OBRA: CAMPAÑA ANALISIS ESTABILIDAD REHABILITACION CASTILLO SAN SEBASTIAN Y MALECON			
CÓDIGO MUESTRA: .2009/7637			
FECHA TOMA: 30/06/2009		FECHA REGISTRO: 07/07/2009	
MODALIDAD DE MUESTREO: ML			
MATERIAL DE LA MUESTRA: TESTIGO DE HORMIGON			
DESCRIPCIÓN Y OTROS: TESTIGO DE HORMIGON D.100 MM			
CÓDIGO ACTA (gral-obra): 2009/12300-28		FECHA ACTA: 20/07/2009	
S/REF-PROCEDENCIA: HME-6			
LOCALIZACION:			
DATOS COMPLEMENTARIOS:			
Profundidad de carbonatación por el método de la fenolftaleína S/UNE EN 14630			
FECHA INICIO / FIN		15-7-09 15-7-09	
Profundidad mm		110	
JEFE DE ÁREA  Carrasco Olivares, José Ángel		Madrid, 20 de julio de 2009 DIRECTOR DE LABORATORIO  Fernández Valero, J. Alberto	

Hoja 1 de 1

GEOCISA

ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS

PETICIONARIO:	TECNOLOGIA Y SERVICIOS AGRARIOS,S.A (TRAGSATEC)	O.E.: 2761
DIRECCIÓN:	C/JULIAN CAMARILLO,6--B;28037,MADRID	
OBRA:	CAMPAÑA ANALISIS ESTABILIDAD REHABILITACION CASTILLO SAN SEBASTIAN Y MALECON	
CÓDIGO MUESTRA:	.2009/7638	
FECHA TOMA:	30/06/2009	FECHA REGISTRO: 07/07/2009
MODALIDAD DE MUESTREO:	ML	
MATERIAL DE LA MUESTRA:	TESTIGO DE HORMIGON	
DESCRIPCIÓN Y OTROS:	TESTIGO DE HORMIGON D.100 MM (ROTURA LONGITUDINAL JUNTA HORMIGONADO)	
CÓDIGO ACTA (gral-obra):	2009/12301-29	FECHA ACTA: 20/07/2009
S/REF-PROCEDENCIA:	HME-6 BIS	
LOCALIZACION:		
DATOS COMPLEMENTARIOS:		
Tallado, refrentado y rotura a compresión de probetas-testigo (S/UNE EN 12504-1, UNE EN 12390-3)		
FECHA INICIO/FIN		

(1) Una vez tallados y refrentados

(2) Efectuada la corrección por esbeltez

Según el Artículo 89º de la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE) relativo a ensayos de información complementaria del hormigón, en su apartado de comentarios:"puede tenerse en cuenta que, por diferencia de compactación y otros efectos, las probetas-testigo presentan una resistencia al menos inferior al 10% respecto a las probetas moldeadas a igualdad de otros factores", por lo que podría aplicarse este coeficiente corrector a los resultados anteriores.

Observaciones:

JEFE DE ÁREA

Carrasco Olivares, Jose Angel

Madrid, 20 de julio de 2009

DIRECTOR DE LABORATORIO

GEOCISA

Fernández Valero, J. Alberto

Modelo: HORM-ASFAL_Rev.2




Los resultados reflejados en este Acta solo afectan a la muestra ensayada. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización escrita de GEOCISA

ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS		Hoja 1 de 1
PETICIONARIO: TECNOLOGIA Y SERVICIOS AGRARIOS, S.A (TRAGSATEC)		O.E.: 2761
DIRECCIÓN: C/JULIAN CAMARILLO, 6--B; 28037, MADRID		
OBRA: CAMPAÑA ANALISIS ESTABILIDAD REHABILITACION CASTILLO SAN SEBASTIAN Y MALECON		
CÓDIGO MUESTRA:	.2009/7638	
FECHA TOMA:	30/06/2009	FECHA REGISTRO: 07/07/2009
MODALIDAD DE MUESTREO:	ML	
MATERIAL DE LA MUESTRA:	TESTIGO DE HORMIGON	
DESCRIPCIÓN Y OTROS:	TESTIGO DE HORMIGON D.100 MM (ROTURA LONGITUDINAL JUNTA HORMIGONADO)	
CÓDIGO ACTA (gral-obra):	2009/12302-30	FECHA ACTA: 20/07/2009
S/REF-PROCEDENCIA:	HME-6 BIS	
LOCALIZACION:		
DATOS COMPLEMENTARIOS:		
Profundidad de carbonatación por el método de la fenolftaleína S/UNE EN 14630		
FECHA INICIO / FIN	15-7-09	15-7-09
Profundidad	mm	38
JEFE DE ÁREA Carrasco Olivares, José Ángel		Madrid, 20 de julio de 2009 DIRECTOR DE LABORATORIO Fernández Valero, J. Alberto



Los resultados reflejados en este Acta solo afectan a la muestra ensayada. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización escrita de GEOCISA

 ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS	
PETICIONARIO: TECNOLOGIA Y SERVICIOS AGRARIOS, S.A (TRAGSATEC)	O.E.: 2761
DIRECCIÓN: C/JULIAN CAMARILLO, 6--B; 28037, MADRID	
OBRA: CAMPAÑA ANALISIS ESTABILIDAD REHABILITACION CASTILLO SAN SEBASTIAN Y MALECON	
CÓDIGO MUESTRA: .2009/7639	
FECHA TOMA: 30/06/2009	FECHA REGISTRO: 07/07/2009
MODALIDAD DE MUESTREO: ML	
MATERIAL DE LA MUESTRA: TESTIGO DE HORMIGON	
DESCRIPCIÓN Y OTROS: TESTIGO DE HORMIGON D.100 MM (LADRILLO ANTERIOR Y POSTERIOR)	
CÓDIGO ACTA (gral-obra): 2009/12303-31	FECHA ACTA: 20/07/2009
S/REF-PROCEDENCIA: HMI-1	
LOCALIZACION:	
DATOS COMPLEMENTARIOS:	
Tallado, refrentado y rotura a compresión de probetas-testigo (S/UNE EN 12504-1, UNE EN 12390-3)	
FECHA INICIO/FIN	
<p>(1) Una vez tallados y refrentados</p> <p>(2) Efectuada la corrección por esbeltez</p> <p>Según el Artículo 89º de la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE) relativo a ensayos de información complementaria del hormigón, en su apartado de comentarios: "puede tenerse en cuenta que, por diferencia de compactación y otros efectos, las probetas-testigo presentan una resistencia al menos inferior al 10% respecto a las probetas moldeadas a igualdad de otros factores", por lo que podría aplicarse este coeficiente corrector a los resultados anteriores.</p> <p>Observaciones:</p>	
JEFE DE ÁREA  Carrasco Olivares, Jose Angel	DIRECTOR DE LABORATORIO  Fernández Valero, J. Alberto
Modelo: HORM-ASFAL_Rev.2	

GEOCISA

Hoja 1 de 1

ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS

PETICIONARIO: TECNOLOGIA Y SERVICIOS AGRARIOS, S.A (TRAGSATEC)		O.E.: 2761
DIRECCIÓN: C/JULIAN CAMARILLO, 6--B; 28037, MADRID		
OBRA: CAMPAÑA ANALISIS ESTABILIDAD REHABILITACION CASTILLO SAN SEBASTIAN Y MALECON		
CÓDIGO MUESTRA:	.2009/7639	
FECHA TOMA:	30/06/2009	FECHA REGISTRO: 07/07/2009
MODALIDAD DE MUESTREO:	ML	
MATERIAL DE LA MUESTRA:	TESTIGO DE HORMIGON	
DESCRIPCIÓN Y OTROS:	TESTIGO DE HORMIGON D. 100 MM (LADRILLO ANTERIOR Y POSTERIOR)	
CÓDIGO ACTA (gral-obra):	2009/12304-32	FECHA ACTA: 20/07/2009
S/REF-PROCEDENCIA:	HMI-1	
LOCALIZACION:		
DATOS COMPLEMENTARIOS:		
Profundidad de carbonatación por el método de la fenolftaleína S/UNE EN 14630		
FECHA INICIO / FIN	15-7-09	15-7-09
Profundidad	mm	120

JEFE DE ÁREA

Carrasco Olivares, José Ángel

Madrid, 20 de julio de 2009

DIRECTOR DE LABORATORIO

GEOCISA

Fernández Valero, J. Alberto



Los resultados reflejados en este Acta solo afectan a la muestra ensayada. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización escrita de GEOCISA.

ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS		Hoja 1 de 1
PETICIONARIO: TECNOLOGIA Y SERVICIOS AGRARIOS, S.A. (TRAGSATEC)		O.E.: 2761
DIRECCIÓN: C/JULIAN CAMARILLO, 6--B; 28037, MADRID		
OBRA: CAMPAÑA ANALISIS ESTABILIDAD REHABILITACION CASTILLO SAN SEBASTIAN Y MALECON		
CÓDIGO MUESTRA: .2009/7640		
FECHA TOMA: 30/06/2009		FECHA REGISTRO: 07/07/2009
MODALIDAD DE MUESTREO: ML		
MATERIAL DE LA MUESTRA: TESTIGO DE HORMIGON		
DESCRIPCIÓN Y OTROS: TESTIGO DE HORMIGON D.100 MM (LADRILLO ANTERIOR AL HORMIGON)		
CÓDIGO ACTA (gral-obra): 2009/12305-33		FECHA ACTA: 20/07/2009
S/REF-PROCEDENCIA: HMI-1 BIS		
LOCALIZACION:		
DATOS COMPLEMENTARIOS:		
Tallado, refrentado y rotura a compresión de probetas-testigo (S/UNE EN 12504-1, UNE EN 12390-3)		
FECHA INICIO/FIN		15-7-09 17-7-09
Nº testigo	Fecha de hormigonado	Diámetro (mm)(1)
7640		100
Carga de rotura (kN)	Tensión de rotura (N/mm²)	Tensión de rotura corregida (N/mm²)(2)
189	24.3	24.3
(1) Una vez tallados y refrentados (2) Efectuada la corrección por esbeltez Según el Artículo 89º de la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE) relativo a ensayos de información complementaria del hormigón, en su apartado de comentarios: "puede tenerse en cuenta que, por diferencia de compactación y otros efectos, las probetas-testigo presentan una resistencia al menos inferior al 10% respecto a las probetas moldeadas a igualdad de otros factores", por lo que podría aplicarse este coeficiente corrector a los resultados anteriores.		
Observaciones:		
JEFE DE ÁREA Carrasco Olivares, Jose Angel		Madrid, 20 de julio de 2009 DIRECTOR DE LABORATORIO Fernández Valero, J. Alberto
Modelo: HORM-ASFAL_Rev.2		

Hoja 1 de 1

GEOCISA

ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS

PETICIONARIO: TECNOLOGIA Y SERVICIOS AGRARIOS, S.A (TRAGSATEC)

O.E.: 2761

DIRECCIÓN: C/JULIAN CAMARILLO, 6--B; 28037, MADRID

OBRA: CAMPAÑA ANALISIS ESTABILIDAD REHABILITACION CASTILLO SAN SEBASTIAN Y MALECON

CÓDIGO MUESTRA: 2009/7640

FECHA TOMA: 30/06/2009

FECHA REGISTRO: 07/07/2009

MODALIDAD DE MUESTREO: ML

MATERIAL DE LA MUESTRA: TESTIGO DE HORMIGON

DESCRIPCIÓN Y OTROS: TESTIGO DE HORMIGON D.100 MM (LADRILLO ANTERIOR AL HORMIGON)

CÓDIGO ACTA (gral-obra): 2009/12306-34

FECHA ACTA: 20/07/2009

S/REF-PROCEDENCIA: HMI-1 BIS

LOCALIZACIÓN:

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Profundidad de carbonatación por el método de la fenolftaleína S/UNE EN 14630

FECHA INICIO / FIN

15-7-09

15-7-09

Profundidad

mm

50

JEFE DE ÁREA

Carrasco Olivares, José Ángel

Madrid, 20 de julio de 2009

DIRECTOR DE LABORATORIO

Fernández Valero, J. Alberto

Los resultados reflejados en este Acta solo afectan a la muestra ensayada. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización escrita de GEOCISA



Los resultados reflejados en este Acta solo afectan a la muestra ensayada. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización escrita de GEOCISA

Hoja 1 de 1

ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS

PETICIONARIO: TECNOLOGIA Y SERVICIOS AGRARIOS, S.A (TRAGSATEC)		O.E.: 2761
DIRECCIÓN: C/JULIAN CAMARILLO, 6-B; 28037, MADRID		
OBRA: CAMPAÑA ANALISIS ESTABILIDAD REHABILITACION CASTILLO SAN SEBASTIAN Y MALECON		
CÓDIGO MUESTRA:	.2009/7641	
FECHA TOMA:	30/06/2009	FECHA REGISTRO: 07/07/2009
MODALIDAD DE MUESTREO:	ML	
MATERIAL DE LA MUESTRA:	TESTIGO DE HORMIGON	
DESCRIPCIÓN Y OTROS:	TESTIGO DE HORMIGON D.100 MM	
CÓDIGO ACTA (gral-obra):	2009/12307-35	FECHA ACTA: 20/07/2009
S/REF-PROCEDENCIA:	HMI-2	
LOCALIZACION:		
DATOS COMPLEMENTARIOS:		

Tallado, refrentado y rotura a compresión de probetas-testigo (S/UNE EN 12504-1, UNE EN 12390-3)		
FECHA INICIO/FIN	15-7-09	17-7-09

Nº testigo	Fecha de hormigonado	Diámetro (mm)(1)	Dirección de la carga respecto a hormigonado	Carga de rotura (kN)	Tensión de rotura (N/mm²)	Tensión de rotura corregida (N/mm²)(2)
7641		100		218	27.9	27.9

(1) Una vez tallados y refrentados
 (2) Efectuada la corrección por esbeltez

Según el Artículo 89º de la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE) relativo a ensayos de información complementaria del hormigón, en su apartado de comentarios: "puede tenerse en cuenta que, por diferencia de compactación y otros efectos, las probetas-testigo presentan una resistencia al menos inferior al 10% respecto a las probetas moldeadas a igualdad de otros factores", por lo que podría aplicarse este coeficiente corrector a los resultados anteriores.

Observaciones:

JEFE DE ÁREA

Carrasco Oljafes, Jose Angel

Madrid, 20 de julio de 2009

DIRECTOR DE LABORATORIO




Fernández Valero, J. Alberto

Modelo: HORM-ASFAL_Rev 2

Los resultados reflejados en este Acta solo afectan a la muestra ensayada. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización escrita de GEOCISA



Los resultados reflejados en este Acta solo afectan a la muestra ensayada. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización escrita de GEOCISA.

 ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS		Hoja 1 de 1
PETICIONARIO: TECNOLOGIA Y SERVICIOS AGRARIOS, S.A (TRAGSATEC)		O.E.: 2761
DIRECCIÓN: C/JULIAN CAMARILLO, 6--B; 28037, MADRID		
OBRA: CAMPAÑA ANALISIS ESTABILIDAD REHABILITACION CASTILLO SAN SEBASTIAN Y MALECON		
CÓDIGO MUESTRA: 2009/7642		
FECHA TOMA:	30/06/2009	FECHA REGISTRO: 07/07/2009
MODALIDAD DE MUESTREO: ML		
MATERIAL DE LA MUESTRA: TESTIGO DE HORMIGON		
DESCRIPCIÓN Y OTROS: TESTIGO DE HORMIGON D. 100 MM		
CÓDIGO ACTA (gral-obra): 2009/12310-38		FECHA ACTA: 20/07/2009
S/REF-PROCEDENCIA: HMI-3		
LOCALIZACION:		
DATOS COMPLEMENTARIOS:		
Profundidad de carbonatación por el método de la fenolftaleína S/UNE EN 14630		
FECHA INICIO / FIN	15-7-09	15-7-09
Profundidad	mm	68
<p> JEFE DE ÁREA  Carrasco Olivares, José Ángel </p> <p> Madrid, 20 de julio de 2009 DIRECTOR DE LABORATORIO  Fernández Valero, J. Alberto </p>		



Los resultados reflejados en este Acta solo afectan a la muestra ensayada. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización escrita de GEOCISA.

GEOCISA		Hoja 1 de 1				
ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS						
PETICIONARIO: TECNOLOGIA Y SERVICIOS AGRARIOS, S.A (TRAGSATEC)		O.E.: 2761				
DIRECCIÓN: C/JULIAN CAMARILLO, 6-B; 28037, MADRID						
OBRA: CAMPAÑA ANALISIS ESTABILIDAD REHABILITACION CASTILLO SAN SEBASTIAN Y MALECON						
CÓDIGO MUESTRA: .2009/7643						
FECHA TOMA: 30/06/2009		FECHA REGISTRO: 07/07/2009				
MODALIDAD DE MUESTREO: ML						
MATERIAL DE LA MUESTRA: TESTIGO DE HORMIGON						
DESCRIPCIÓN Y OTROS: TESTIGO DE HORMIGON D.100 MM						
CÓDIGO ACTA (gral-obra): 2009/12311-39		FECHA ACTA: 20/07/2009				
S/REF-PROCEDENCIA: HMI-4						
LOCALIZACIÓN:						
DATOS COMPLEMENTARIOS:						
Tallado, refrentado y rotura a compresión de probetas-testigo (S/UNE EN 12504-1, UNE EN 12390-3)						
FECHA INICIO/FIN		15-7-09 17-7-09				
Nº testigo	Fecha de hormigonado	Diámetro (mm)(1)	Dirección de la carga respecto a hormigonado	Carga de rotura (kN)	Tensión de rotura (N/mm²)	Tensión de rotura corregida (N/mm²)(2)
7643		100		145	18.6	18.6
<p>(1) Una vez tallados y refrentados</p> <p>(2) Efectuada la corrección por esbeltez</p> <p>Según el Artículo 89º de la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE) relativo a ensayos de información complementaria del hormigón, en su apartado de comentarios: "puede tenerse en cuenta que, por diferencia de compactación y otros efectos, las probetas-testigo presentan una resistencia al menos inferior al 10% respecto a las probetas moldeadas a igualdad de otros factores", por lo que podría aplicarse este coeficiente corrector a los resultados anteriores.</p> <p>Observaciones:</p>						
JEFE DE ÁREA Carrasco Olivares, Jose Angel				Madrid, 20 de julio de 2009 DIRECTOR DE LABORATORIO Fernández Valero, J. Alberto		
Modelo: HORM-ASFAL_Rev 2						



Los resultados reflejados en este Acta solo afectan a la muestra ensayada. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización escrita de GEOCISA

GEOCISA		Hoja 1 de 1	
ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS			
PETICIONARIO: TECNOLOGIA Y SERVICIOS AGRARIOS, S.A (TRAGSATEC)		O.E.: 2761	
DIRECCIÓN: C/JULIAN CAMARILLO, 6-B; 28037, MADRID			
OBRA: CAMPAÑA ANALISIS ESTABILIDAD REHABILITACION CASTILLO SAN SEBASTIAN Y MALECON			
CÓDIGO MUESTRA: .2009/7643			
FECHA TOMA: 30/06/2009		FECHA REGISTRO: 07/07/2009	
MODALIDAD DE MUESTREO: ML			
MATERIAL DE LA MUESTRA: TESTIGO DE HORMIGON			
DESCRIPCIÓN Y OTROS: TESTIGO DE HORMIGON D.100 MM			
CÓDIGO ACTA (gral-obra): 2009/12312-40		FECHA ACTA: 20/07/2009	
S/REF-PROCEDENCIA: HMI-4			
LOCALIZACION:			
DATOS COMPLEMENTARIOS:			
Profundidad de carbonatación por el método de la fenolftaleína S/UNE EN 14630			
FECHA INICIO / FIN		15-7-09 15-7-09	
Profundidad mm		80	
JEFE DE ÁREA Carrasco Olivares, José Ángel		Madrid, 20 de julio de 2009 DIRECTOR DE LABORATORIO Fernández Valero, J. Alberto	



Los resultados reflejados en este Acta solo afectan a la muestra ensayada. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización escrita de GEOCISA

ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS		Hoja 1 de 1
PETICIONARIO: TECNOLOGIA Y SERVICIOS AGRARIOS, S.A (TRAGSATEC)		O.E.: 2761
DIRECCIÓN: C/JULIAN CAMARILLO, 6-B; 28037, MADRID		
OBRA: CAMPAÑA ANALISIS ESTABILIDAD REHABILITACION CASTILLO SAN SEBASTIAN Y MALECON		
CÓDIGO MUESTRA: .2009/7644		
FECHA TOMA: 30/06/2009		FECHA REGISTRO: 07/07/2009
MODALIDAD DE MUESTREO: ML		
MATERIAL DE LA MUESTRA: TESTIGO DE HORMIGON		
DESCRIPCIÓN Y OTROS: TESTIGO DE HORMIGON D.100 MM		
CÓDIGO ACTA (gral-obra): 2009/12313-41		FECHA ACTA: 20/07/2009
S/REF-PROCEDENCIA: HMI-5		
LOCALIZACION:		
DATOS COMPLEMENTARIOS:		
Tallado, refrentado y rotura a compresión de probetas-testigo (S/UNE EN 12504-1, UNE EN 12390-3)		
FECHA INICIO/FIN		15-7-09 17-7-09
Nº testigo	Fecha de hormigonado	Diámetro (mm)(1)
7644		100
Carga de rotura (kN)	Tensión de rotura (N/mm²)	Tensión de rotura corregida (N/mm²)(2)
202	25.9	25.9
<p>(1) Una vez tallados y refrentados</p> <p>(2) Efectuada la corrección por esbellez</p> <p>Según el Artículo 89º de la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE) relativo a ensayos de información complementaria del hormigón, en su apartado de comentarios: "puede tenerse en cuenta que, por diferencia de compactación y otros efectos, las probetas-testigo presentan una resistencia al menos inferior al 10% respecto a las probetas moldeadas a igualdad de otros factores", por lo que podría aplicarse este coeficiente corrector a los resultados anteriores.</p> <p>Observaciones:</p>		
JEFE DE ÁREA Carrasco Olivares, Jose Angel		Madrid, 20 de julio de 2009 DIRECTOR DE LABORATORIO Fernández Valero, J. Alberto
<small>Modelo: HORM-ASFAL_Rev 2</small>		



Los resultados reflejados en este Acta solo afectan a la muestra ensayada. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización escrita de GEOCISA

<div style="display: inline-block; background-color: #0056b3; color: white; padding: 5px; font-weight: bold; font-size: 1.2em;">GEOCISA</div> <div style="display: inline-block; vertical-align: middle; margin-left: 10px;"> ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS </div>		Hoja 1 de 1
PETICIONARIO: TECNOLOGIA Y SERVICIOS AGRARIOS, S.A. (TRAGSATEC)		O.E.: 2761
DIRECCIÓN: C/JULIAN CAMARILLO, 6-B; 28037, MADRID		
OBRA: CAMPAÑA ANALISIS ESTABILIDAD REHABILITACION CASTILLO SAN SEBASTIAN Y MALECON		
CÓDIGO MUESTRA:	.2009/7644	
FECHA TOMA:	30/06/2009	FECHA REGISTRO: 07/07/2009
MODALIDAD DE MUESTREO:	ML	
MATERIAL DE LA MUESTRA:	TESTIGO DE HORMIGON	
DESCRIPCIÓN Y OTROS:	TESTIGO DE HORMIGON D.100 MM	
CÓDIGO ACTA (gral-obra):	2009/12314-42	FECHA ACTA: 20/07/2009
S/REF-PROCEDENCIA:	HMI-5	
LOCALIZACION:		
DATOS COMPLEMENTARIOS:		
Profundidad de carbonatación por el método de la fenolftaleína S/UNE EN 14630		
FECHA INICIO / FIN	15-7-09	15-7-09
Profundidad	mm	110
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: flex-end;"> <div style="width: 45%;"> <p>JEFE DE ÁREA</p> <p>Carrasco Olivares, José Ángel</p> </div> <div style="width: 45%; text-align: right;"> <p>Madrid, 20 de julio de 2009</p> <p>DIRECTOR DE LABORATORIO</p> <p>Fernández Valero, J. Alberto</p> </div> </div>		


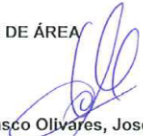



Los resultados reflejados en este Acta solo afectan a la muestra ensayada. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización escrita de GEOCISA.

<div style="display: inline-block; background-color: #0056b3; color: white; padding: 2px 5px; font-weight: bold; font-size: 1.2em;">GEOCISA</div> <div style="display: inline-block; vertical-align: middle; margin-left: 10px;"> ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS </div>		Hoja 1 de 1
PETICIONARIO: TECNOLOGIA Y SERVICIOS AGRARIOS, S.A (TRAGSATEC)		O.E.: 2761
DIRECCIÓN: C/JULIAN CAMARILLO, 6-B; 28037, MADRID		
OBRA: CAMPAÑA ANALISIS ESTABILIDAD REHABILITACION CASTILLO SAN SEBASTIAN Y MALECON		
CÓDIGO MUESTRA: 2009/7645		
FECHA TOMA: 30/06/2009		FECHA REGISTRO: 07/07/2009
MODALIDAD DE MUESTREO: ML		
MATERIAL DE LA MUESTRA: TESTIGO DE HORMIGON		
DESCRIPCIÓN Y OTROS: TESTIGO DE HORMIGON D.100 MM		
CÓDIGO ACTA (gral-obra): 2009/12315-43		FECHA ACTA: 20/07/2009
S/REF-PROCEDENCIA: HMI-6		
LOCALIZACION:		
DATOS COMPLEMENTARIOS:		
Tallado, refrentado y rotura a compresión de probetas-testigo (S/UNE EN 12504-1, UNE EN 12390-3)		
FECHA INICIO/FIN		15-7-09 17-7-09
Nº testigo	Fecha de hormigonado	Diámetro (mm)(1)
7645		100
Dirección de la carga respecto a hormigonado	Carga de rotura (kN)	Tensión de rotura (N/mm²)
Tensión de rotura corregida (N/mm²)(2)	194	24.8
23.1		
(1) Una vez tallados y refrentados (2) Efectuada la corrección por esbeltez Según el Artículo 89º de la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE) relativo a ensayos de información complementaria del hormigón, en su apartado de comentarios: "puede tenerse en cuenta que, por diferencia de compactación y otros efectos, las probetas-testigo presentan una resistencia al menos inferior al 10% respecto a las probetas moldeadas a igualdad de otros factores", por lo que podría aplicarse este coeficiente corrector a los resultados anteriores.		
Observaciones:		
JEFE DE ÁREA Carrasco Olivares, Jose Angel		Madrid, 20 de julio de 2009 DIRECTOR DE LABORATORIO Fernández Valero, J. Alberto
Modelo: HORM-ASFAL_Rev.2		



Los resultados reflejados en este Acta solo afectan a la muestra ensayada. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización escrita de GEOCISA

 ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS		Hoja 1 de 1
PETICIONARIO: TECNOLOGIA Y SERVICIOS AGRARIOS, S.A (TRAGSATEC)		O.E.: 2761
DIRECCIÓN: C/JULIAN CAMARILLO, 6-B; 28037, MADRID		
OBRA: CAMPAÑA ANALISIS ESTABILIDAD REHABILITACION CASTILLO SAN SEBASTIAN Y MALECON		
CÓDIGO MUESTRA:	.2009/7645	
FECHA TOMA:	30/06/2009	FECHA REGISTRO: 07/07/2009
MODALIDAD DE MUESTREO:	ML	
MATERIAL DE LA MUESTRA:	TESTIGO DE HORMIGON	
DESCRIPCIÓN Y OTROS:	TESTIGO DE HORMIGON D.100 MM	
CÓDIGO ACTA (gral-obra):	2009/12316-44	FECHA ACTA: 20/07/2009
S/REF-PROCEDENCIA:	HMI-6	
LOCALIZACION:		
DATOS COMPLEMENTARIOS:		
Profundidad de carbonatación por el método de la fenolftaleína S/UNE EN 14630		
FECHA INICIO / FIN	15-7-09	15-7-09
Profundidad	mm	170
JEFE DE ÁREA  Carrasco Olivares, José Ángel	Madrid, 20 de julio de 2009 DIRECTOR DE LABORATORIO  Fernández Valero, J. Alberto	

269

Los resultados reflejados en este Acta solo afectan a la muestra ensayada. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización escrita de GEOCISA

270

GEOCISA

ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS

PETICIONARIO: TECNOLOGIA Y SERVICIOS AGRARIOS, S.A (TRAGSATEC)	O.E.:2761
DIRECCIÓN PETICIONARIO: C/JULIAN CAMARILLO,6--B	
DIRECCIÓN OBRA: C/JULIAN CAMARILLO,6--B;28037, Madrid	
OBRA: CAMPAÑA ANALISIS ESTABILIDAD REHABILITACION CASTILLO SAN SEBASTIAN Y MALECON	
CÓDIGO MUESTRA:	.2009/7632
FECHA TOMA:	30/06/2009
FECHA REGISTRO:	07/07/2009
MODALIDAD DE MUESTREO: ML	
MATERIAL DE LA MUESTRA: TESTIGO DE HORMIGON	
DESCRIPCIÓN Y OTROS:	TESTIGO DE HORMIGON D.170 MM
CÓDIGO ACTA :	2009/12594
FECHA ACTA:	22/07/2009
S/REF-PROCEDENCIA:	HME-1
LOCALIZACION:	
DATOS COMPLEMENTARIOS: ENSAYO REALIZADO SOBRE FIN TESTIGO	

HORMIGONES, CLORUROS - UNE EN 112010	
Fecha inicio ensayo	16/07/2009
Fecha fin ensayo	16/07/2009
CLORUROS	% 0,19
Datos Complementarios	

GEOCISA



P.A. Isabel Moad

LABORATORIO ACREDITADO POR LA COMUNIDAD DE MADRID FECHA CONCESIÓN 07/03/05 N° REGISTRO DE LABORATORIO
ACREDITADO 03113EH05 03114GT05 03115GT05 03116VS05 03117EA05 03118EA05 03119AF05 03120AF05 03121ACC05 03122ACH05 03123AP05 03124PH05 Y

Geotecnia y Cimientos, S.A. Los Llanos de Jerez, 10 y 12. - 28823 Coslada (Madrid) - Teléf. 91 660 30 00 - Fax 91 671 64 10



Hoja 1 de 3

GEOCISA**ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS**

PETICIONARIO: TECNOLOGIA Y SERVICIOS AGRARIOS, S.A. (TRAGSATEC)		O.E.: 2761
DIRECCIÓN PETICIONARIO: C/JULIAN CAMARILLO, 6--B		
DIRECCIÓN OBRA: C/JULIAN CAMARILLO, 6--B; 28037, Madrid		
OBRA: CAMPAÑA ANALISIS ESTABILIDAD REHABILITACION CASTILLO SAN SEBASTIAN Y MALECON		
CÓDIGO MUESTRA:	.2009/7633	
FECHA TOMA:	30/06/2009	FECHA REGISTRO: 07/07/2009
MODALIDAD DE MUESTREO: ML		
MATERIAL DE LA MUESTRA: TESTIGO DE HORMIGON		
DESCRIPCIÓN Y OTROS: TESTIGO DE HORMIGON D. 170 MM		
CÓDIGO ACTA :	2009/12582	FECHA ACTA: 22/07/2009
S/REF-PROCEDENCIA: HME-2		
LOCALIZACION:		
DATOS COMPLEMENTARIOS: ENSAYO SOBRE TRAMO CENTRAL TESTIGO		

ANÁLISIS QUÍMICO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

HORMIGONES , ANHÍDRIDO SULFÚRICO		
Fecha inicio ensayo		17/07/2009
Fecha fin ensayo		21/07/2009
ANHÍDRIDO SULFÚRICO	%	1,0
Datos Complementarios		

Los resultados reflejados en este Acta solo afectan a la muestra ensayada. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización escrita de GEOCISA

GEOCISA

LOS ENSAYOS SUBCONTRATADOS SE INDICAN CON **

RESPONSABLE TÉCNICO

Fdo.: Eva González Arcenillas
(Lda. Ciencias Químicas)

Madrid, 22 de julio de 2009

RESPONSABLE INORGÁNICA

Fdo.: Mª Isabel Pando González
(Lda. Ciencias Químicas)

RQ-M. CONSTRUCCIÓN

LABORATORIO ACREDITADO POR LA COMUNIDAD DE MADRID FECHA CONCESIÓN 07/03/05 N° REGISTRO DE LABORATORIO

ACREDITADO 03111ER405 031143TL05 03115GTC05 03116VSG05 03117EAP05 03118EAS05 03118AFC05 03120AFH05 03121ACC05 03122ACH05 03123APC05 03124AFH05 Y

2015-2016

Geotecnia y Cimientos, S.A. Los Llanos de Jerez, 10 y 12. - 28823 Coslada (Madrid) - Teléf. 91 660 30 00 - Fax 91 671 64 10

Laboratorio Central de Geocisa en Coslada



Los resultados reflejados en este Acta solo afectan a la muestra ensayada. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización escrita de GEOCISA.

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="background-color: #333; color: white; padding: 5px; font-weight: bold; font-size: 1.2em;">GEOCISA</div> <div> ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS </div> </div>	
PETICIONARIO: TECNOLOGIA Y SERVICIOS AGRARIOS, S.A (TRAGSATEC) O.E.: 2761	
DIRECCIÓN PETICIONARIO: C/JULIAN CAMARILLO, 6--B	
DIRECCIÓN OBRA: C/JULIAN CAMARILLO, 6--B; 28037, Madrid	
OBRA: CAMPAÑA ANALISIS ESTABILIDAD REHABILITACION CASTILLO SAN SEBASTIAN Y MALECON	
CÓDIGO MUESTRA: .2009/7633	
FECHA TOMA: 30/06/2009	FECHA REGISTRO: 07/07/2009
MODALIDAD DE MUESTREO: ML	
MATERIAL DE LA MUESTRA: TESTIGO DE HORMIGON	
DESCRIPCIÓN Y OTROS: TESTIGO DE HORMIGON D.170 MM	
CÓDIGO ACTA : 2009/12595	FECHA ACTA: 22/07/2009
S/REF-PROCEDENCIA: HME-2	
LOCALIZACION:	
DATOS COMPLEMENTARIOS: ENSAYO REALIZADO SOBRE INICIO TESTIGO	
ANÁLISIS QUÍMICO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	
HORMIGONES, CLORUROS - UNE EN 112010	
Fecha inicio ensayo	16/07/2009
Fecha fin ensayo	16/07/2009
CLORUROS	% 0,13
Datos Complementarios	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: left;"> <p>LOS ENSAYOS SUBCONTRATADOS SE INDICAN CON * *</p> <p>RESPONSABLE TÉCNICO</p> <p><i>[Firma]</i></p> <p>Fdo.: Eva González Arcenillas (Lda. Ciencias Químicas)</p> </div> <div style="text-align: right;"> <p>Madrid, 22 de julio de 2009</p> <p>RESPONSABLE INORGÁNICA</p> <p><i>[Firma]</i></p> <p>Fdo.: M^a Isabel Pando González (Lda. Ciencias Químicas)</p> </div> </div>	
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> GEOCISA </div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 10px; text-align: center;"> COMPROMETIDOS CON LA PREVENCIÓN </div> </div>	
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> RQ-M. CONSTRUCCIÓN </div> <div> <small>LABORATORIO ACREDITADO POR LA COMUNIDAD DE MADRID FECHA CONCESIÓN 07/03/05 N° REGISTRO DE LABORATORIO ACREDITADO 03113EHA/05, 03114GTL/05, 03115GTC/05, 03116VSG/05, 03117EAP/05, 03118EAS/05, 03119AF/05, 031201FH/05, 03121ACC/05, 03122ACH/05, 03123AF/05, 03124PH/05 Y 03125MAG/05</small> </div> </div>	
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> Geotecnia y Cimientos, S.A. Los Llanos de Jerez, 10 y 12. - 28823 Coslada (Madrid) - Teléf. 91 660 30 00 - Fax 91 671 64 10 </div> <div> <small>Laboratorio Central de Geocisa en Coslada</small> </div> </div>	



Los resultados reflejados en este Acta solo afectan a la muestra ensayada. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización escrita de GEOCISA

ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS		Hoja 3 de 3
PETICIONARIO: TECNOLOGIA Y SERVICIOS AGRARIOS, S.A (TRAGSATEC)		O.E.: 2761
DIRECCIÓN PETICIONARIO: C/JULIAN CAMARILLO, 6--B DIRECCIÓN OBRA: C/JULIAN CAMARILLO, 6--B; 28037, Madrid		
OBRA: CAMPAÑA ANALISIS ESTABILIDAD REHABILITACION CASTILLO SAN SEBASTIAN Y MALECON		
CÓDIGO MUESTRA: .2009/7633		
FECHA TOMA: 30/06/2009		FECHA REGISTRO: 07/07/2009
MODALIDAD DE MUESTREO: ML		
MATERIAL DE LA MUESTRA: TESTIGO DE HORMIGON		
DESCRIPCIÓN Y OTROS: TESTIGO DE HORMIGON D.170 MM		
CÓDIGO ACTA : 2009/12596		FECHA ACTA: 22/07/2009
S/REF-PROCEDENCIA: HME-2		
LOCALIZACION:		
DATOS COMPLEMENTARIOS: ENSAYO REALIZADO SOBRE FIN TESTIGO		
ANÁLISIS QUÍMICO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN		
HORMIGONES, CLORUROS - UNE EN 112010		
Fecha inicio ensayo		16/07/2009
Fecha fin ensayo		16/07/2009
CLORUROS		% 0,06
Datos Complementarios		
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: flex-end;"> <div style="width: 45%;"> <p>LOS ENSAYOS SUBCONTRATADOS SE INDICAN CON **</p> <p>RESPONSABLE TÉCNICO</p> <div style="text-align: center;"> Fdo.: Eva González Arcenillas (Lda. Ciencias Químicas) </div> </div> <div style="width: 45%; text-align: right;"> <div style="text-align: center;"> Madrid, 22 de julio de 2009 RESPONSABLE INORGÁNICA <div style="text-align: center;"> P.A. Isabel Pando Fdo.: Mª Isabel Pando González (Lda. Ciencias Químicas) </div> </div> <div style="position: absolute; right: 0; bottom: 0;"> </div> </div> </div>		
<small> RQ-M. CONSTRUCCIÓN LABORATORIO ACREDITADO POR LA COMUNIDAD DE MADRID FECHA CONCESIÓN 07/03/05 IV REGISTRO DE LABORATORIO Acreditado por el ITCM (CITA) 011401165 011501120 011101050 011101050 011101050 011101050 011101050 011101050 011101050 011101050 Geotecnia y Cimientos, S.A. Los Llanos de Jerez, 10 y 12. - 28823 Coslada (Madrid) - Teléf. 91 660 30 00 - Fax 91 671 64 10 Laboratorio Central de Geocisa en, Coslada </small>		



Los resultados reflejados en este Acta solo afectan a la muestra ensayada. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización escrita de GEOCISA

GEOCISA		Hoja 1 de 3
ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS		
PETICIONARIO: TECNOLOGIA Y SERVICIOS AGRARIOS, S.A (TRAGSATEC)		O.E.: 2761
DIRECCIÓN PETICIONARIO: C/JULIAN CAMARILLO, 6--B		
DIRECCIÓN OBRA: C/JULIAN CAMARILLO, 6--B; 28037, Madrid		
OBRA: CAMPAÑA ANALISIS ESTABILIDAD REHABILITACION CASTILLO SAN SEBASTIAN Y MALECON		
CÓDIGO MUESTRA:	.2009/7634	
FECHA TOMA:	30/06/2009	FECHA REGISTRO: 07/07/2009
MODALIDAD DE MUESTREO: ML		
MATERIAL DE LA MUESTRA: TESTIGO DE HORMIGON		
DESCRIPCIÓN Y OTROS: TESTIGO DE HORMIGON D.143 MM		
CÓDIGO ACTA :	2009/12583	FECHA ACTA: 22/07/2009
S/REF-PROCEDENCIA: HME-3		
LOCALIZACION:		
DATOS COMPLEMENTARIOS: ENSAYO SOBRE TRAMO CENTRAL TESTIGO		
ANÁLISIS QUÍMICO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN		
HORMIGONES , ANHÍDRIDO SULFÚRICO		
Fecha inicio ensayo	17/07/2009	
Fecha fin ensayo	21/07/2009	
ANHÍDRIDO SULFÚRICO	%	1,0
Datos Complementarios		
LOS ENSAYOS SUBCONTRATADOS SE INDICAN CON * *		
RESPONSABLE TÉCNICO		
Fdo.: Eva González Arcenillas (Lda. Ciencias Químicas)		
Madrid, 22 de julio de 2009		
RESPONSABLE INORGÁNICA		
Fdo.: Mª Isabel Pando González (Lda. Ciencias Químicas)		
<small> LABORATORIO ACREDITADO POR LA COMISIÓN DE MADRID PARA LA CALIFICACIÓN DE LABORATORIOS ACREDITADO 03112EH/05 031145/05 031150/05 031151/05 031152/05 031153/05 031154/05 031155/05 031156/05 031157/05 031158/05 031159/05 031160/05 031161/05 031162/05 031163/05 031164/05 031165/05 031166/05 031167/05 031168/05 031169/05 031170/05 031171/05 031172/05 031173/05 031174/05 031175/05 031176/05 031177/05 031178/05 031179/05 031180/05 031181/05 031182/05 031183/05 031184/05 031185/05 031186/05 031187/05 031188/05 031189/05 031190/05 031191/05 031192/05 031193/05 031194/05 031195/05 031196/05 031197/05 031198/05 031199/05 031200/05 031201/05 031202/05 031203/05 031204/05 031205/05 031206/05 031207/05 031208/05 031209/05 031210/05 031211/05 031212/05 031213/05 031214/05 031215/05 031216/05 031217/05 031218/05 031219/05 031220/05 031221/05 031222/05 031223/05 031224/05 031225/05 031226/05 031227/05 031228/05 031229/05 031230/05 031231/05 031232/05 031233/05 031234/05 031235/05 031236/05 031237/05 031238/05 031239/05 031240/05 031241/05 031242/05 031243/05 031244/05 031245/05 031246/05 031247/05 031248/05 031249/05 031250/05 031251/05 031252/05 031253/05 031254/05 031255/05 031256/05 031257/05 031258/05 031259/05 031260/05 031261/05 031262/05 031263/05 031264/05 031265/05 031266/05 031267/05 031268/05 031269/05 031270/05 031271/05 031272/05 031273/05 031274/05 031275/05 031276/05 031277/05 031278/05 031279/05 031280/05 031281/05 031282/05 031283/05 031284/05 031285/05 031286/05 031287/05 031288/05 031289/05 031290/05 031291/05 031292/05 031293/05 031294/05 031295/05 031296/05 031297/05 031298/05 031299/05 031300/05 031301/05 031302/05 031303/05 031304/05 031305/05 031306/05 031307/05 031308/05 031309/05 031310/05 031311/05 031312/05 031313/05 031314/05 031315/05 031316/05 031317/05 031318/05 031319/05 031320/05 031321/05 031322/05 031323/05 031324/05 031325/05 031326/05 031327/05 031328/05 031329/05 031330/05 031331/05 031332/05 031333/05 031334/05 031335/05 031336/05 031337/05 031338/05 031339/05 031340/05 031341/05 031342/05 031343/05 031344/05 031345/05 031346/05 031347/05 031348/05 031349/05 031350/05 031351/05 031352/05 031353/05 031354/05 031355/05 031356/05 031357/05 031358/05 031359/05 031360/05 031361/05 031362/05 031363/05 031364/05 031365/05 031366/05 031367/05 031368/05 031369/05 031370/05 031371/05 031372/05 031373/05 031374/05 031375/05 031376/05 031377/05 031378/05 031379/05 031380/05 031381/05 031382/05 031383/05 031384/05 031385/05 031386/05 031387/05 031388/05 031389/05 031390/05 031391/05 031392/05 031393/05 031394/05 031395/05 031396/05 031397/05 031398/05 031399/05 031400/05 031401/05 031402/05 031403/05 031404/05 031405/05 031406/05 031407/05 031408/05 031409/05 031410/05 031411/05 031412/05 031413/05 031414/05 031415/05 031416/05 031417/05 031418/05 031419/05 031420/05 031421/05 031422/05 031423/05 031424/05 031425/05 031426/05 031427/05 031428/05 031429/05 031430/05 031431/05 031432/05 031433/05 031434/05 031435/05 031436/05 031437/05 031438/05 031439/05 031440/05 031441/05 031442/05 031443/05 031444/05 031445/05 031446/05 031447/05 031448/05 031449/05 031450/05 031451/05 031452/05 031453/05 031454/05 031455/05 031456/05 031457/05 031458/05 031459/05 031460/05 031461/05 031462/05 031463/05 031464/05 031465/05 031466/05 031467/05 031468/05 031469/05 031470/05 031471/05 031472/05 031473/05 031474/05 031475/05 031476/05 031477/05 031478/05 031479/05 031480/05 031481/05 031482/05 031483/05 031484/05 031485/05 031486/05 031487/05 031488/05 031489/05 031490/05 031491/05 031492/05 031493/05 031494/05 031495/05 031496/05 031497/05 031498/05 031499/05 031500/05 031501/05 031502/05 031503/05 031504/05 031505/05 031506/05 031507/05 031508/05 031509/05 031510/05 031511/05 031512/05 031513/05 031514/05 031515/05 031516/05 031517/05 031518/05 031519/05 031520/05 031521/05 031522/05 031523/05 031524/05 031525/05 031526/05 031527/05 031528/05 031529/05 031530/05 031531/05 031532/05 031533/05 031534/05 031535/05 031536/05 031537/05 031538/05 031539/05 031540/05 031541/05 031542/05 031543/05 031544/05 031545/05 031546/05 031547/05 031548/05 031549/05 031550/05 031551/05 031552/05 031553/05 031554/05 031555/05 031556/05 031557/05 031558/05 031559/05 031560/05 031561/05 031562/05 031563/05 031564/05 031565/05 031566/05 031567/05 031568/05 031569/05 031570/05 031571/05 031572/05 031573/05 031574/05 031575/05 031576/05 031577/05 031578/05 031579/05 031580/05 031581/05 031582/05 031583/05 031584/05 031585/05 031586/05 031587/05 031588/05 031589/05 031590/05 031591/05 031592/05 031593/05 031594/05 031595/05 031596/05 031597/05 031598/05 031599/05 031600/05 031601/05 031602/05 031603/05 031604/05 031605/05 031606/05 031607/05 031608/05 031609/05 031610/05 031611/05 031612/05 031613/05 031614/05 031615/05 031616/05 031617/05 031618/05 031619/05 031620/05 031621/05 031622/05 031623/05 031624/05 031625/05 031626/05 031627/05 031628/05 031629/05 031630/05 031631/05 031632/05 031633/05 031634/05 031635/05 031636/05 031637/05 031638/05 031639/05 031640/05 031641/05 031642/05 031643/05 031644/05 031645/05 031646/05 031647/05 031648/05 031649/05 031650/05 031651/05 031652/05 031653/05 031654/05 031655/05 031656/05 031657/05 031658/05 031659/05 031660/05 031661/05 031662/05 031663/05 031664/05 031665/05 031666/05 031667/05 031668/05 031669/05 031670/05 031671/05 031672/05 031673/05 031674/05 031675/05 031676/05 031677/05 031678/05 031679/05 031680/05 031681/05 031682/05 031683/05 031684/05 031685/05 031686/05 031687/05 031688/05 031689/05 031690/05 031691/05 031692/05 031693/05 031694/05 031695/05 031696/05 031697/05 031698/05 031699/05 031700/05 031701/05 031702/05 031703/05 031704/05 031705/05 031706/05 031707/05 031708/05 031709/05 031710/05 031711/05 031712/05 031713/05 031714/05 031715/05 031716/05 031717/05 031718/05 031719/05 031720/05 031721/05 031722/05 031723/05 031724/05 031725/05 031726/05 031727/05 031728/05 031729/05 031730/05 031731/05 031732/05 031733/05 031734/05 031735/05 031736/05 031737/05 031738/05 031739/05 031740/05 031741/05 031742/05 031743/05 031744/05 031745/05 031746/05 031747/05 031748/05 031749/05 031750/05 031751/05 031752/05 031753/05 031754/05 031755/05 031756/05 031757/05 031758/05 031759/05 031760/05 031761/05 031762/05 031763/05 031764/05 031765/05 031766/05 031767/05 031768/05 031769/05 031770/05 031771/05 031772/05 031773/05 031774/05 031775/05 031776/05 031777/05 031778/05 031779/05 031780/05 031781/05 031782/05 031783/05 031784/05 031785/05 031786/05 031787/05 031788/05 031789/05 031790/05 031791/05 031792/05 031793/05 031794/05 031795/05 031796/05 031797/05 031798/05 031799/05 031800/05 031801/05 031802/05 031803/05 031804/05 031805/05 031806/05 031807/05 031808/05 031809/05 031810/05 031811/05 031812/05 031813/05 031814/05 031815/05 031816/05 031817/05 031818/05 031819/05 031820/05 031821/05 031822/05 031823/05 031824/05 031825/05 031826/05 031827/05 031828/05 031829/05 031830/05 031831/05 031832/05 031833/05 031834/05 031835/05 031836/05 031837/05 031838/05 031839/05 031840/05 031841/05 031842/05 031843/05 031844/05 031845/05 031846/05 031847/05 031848/05 031849/05 031850/05 031851/05 031852/05 031853/05 031854/05 031855/05 031856/05 031857/05 031858/05 031859/05 031860/05 031861/05 031862/05 031863/05 031864/05 031865/05 031866/05 031867/05 031868/05 031869/05 031870/05 031871/05 031872/05 031873/05 031874/05 031875/05 031876/05 031877/05 031878/05 031879/05 031880/05 031881/05 031882/05 031883/05 031884/05 031885/05 031886/05 031887/05 031888/05 031889/05 031890/05 031891/05 031892/05 031893/05 031894/05 031895/05 031896/05 031897/05 031898/05 031899/05 031900/05 031901/05 031902/05 031903/05 031904/05 031905/05 031906/05 031907/05 031908/05 031909/05 031910/05 031911/05 031912/05 031913/05 031914/05 031915/05 031916/05 031917/05 031918/05 031919/05 031920/05 031921/05 031922/05 031923/05 031924/05 031925/05 031926/05 031927/05 031928/05 031929/05 031930/05 031931/05 031932/05 031933/05 031934/05 031935/05 031936/05 031937/05 031938/05 031939/05 031940/05 031941/05 031942/05 031943/05 031944/05 031945/05 031946/05 031947/05 031948/05 031949/05 031950/05 031951/05 031952/05 031953/05 031954/05 031955/05 031956/05 031957/05 031958/05 031959/05 031960/05 031961/05 031962/05 031963/05 031964/05 031965/05 031966/05 031967/05 031968/05 031969/05 031970/05 031971/05 031972/05 031973/05 031974/05 031975/05 031976/05 031977/05 031978/05 031979/05 031980/05 031981/05 031982/05 031983/05 031984/05 031985/05 031986/05 031987/05 031988/05 031989/05 031990/05 031991/05 031992/05 031993/05 031994/05 031995/05 031996/05 031997/05 031998/05 031999/05 032000/05 032001/05 032002/05 032003/05 032004/05 032005/05 032006/05 032007/05 032008/05 032009/05 032010/05 032011/05 032012/05 032013/05 032014/05 032015/05 032016/05 032017/05 032018/05 032019/05 032020/05 032021/05 032022/05 032023/05 032024/05 032025/05 032026/05 032027/05 032028/05 032029/05 032030/05 032031/05 032032/05 032033/05 032034/05 032035/05 032036/05 032037/05 032038/05 032039/05 032040/05 032041/05 032042/05 032043/05 032044/05 032045/05 032046/05 032047/05 032048/05 032049/05 032050/05 032051/05 032052/05 032053/05 032054/05 032055/05 032056/05 032057/05 032058/05 032059/05 032060/05 032061/05 032062/05 032063/05 032064/05 032065/05 032066/05 032067/05 032068/05 032069/05 032070/05 032071/05 032072/05 032073/05 032074/05 032075/05 032076/05 032077/05 032078/05 032079/05 032080/05 032081/05 032082/05 032083/05 032084/05 032085/05 032086/05 032087/05 032088/05 032089/05 032090/05 032091/05 032092/05 032093/05 032094/05 032095/05 032096/05 032097/05 032098/05 032099/05 032100/05 032101/05 032102/05 032103/05 032104/05 032105/05 032106/05 032107/05 032108/05 032109/05 032110/05 032111/05 032112/05 032113/05 032114/05 032115/05 032116/05 032117/05 032118/05 032119/05 032120/05 032121/05 032122/05 032123/05 032124/05 032125/05 032126/05 032127/05 032128/05 032129/05 032130/05 032131/05 032132/05 032133/05 032134/05 032135/05 032136/05 032137/05 032138/05 032139/05 032140/05 032141/05 032142/05 032143/05 032144/05 032145/05 032146/05 032147/05 032148/05 032149/05 032150/05 032151/05 032152/05 032153/05 032154/05 032155/05 032156/05 032157/05 032158/05 032159/05 032160/05 032161/05 032162/05 032163/05 032164/05 032165/05 032166/05 032167/05 032168/05 032169/05 032170/05 032171/05 032172/05 032173/05 032174/05 032175/05 032176/05 032177/05 032178/05 032179/05 032180/05 032181/05 032182/05 032183/05 032184/05 032185/05 032186/05 032187/05 032188/05 032189/05 032190/05 032191/05 032192/05 032193/05 032194/05 032195/05 032196/05 032197/05 032198/05 032199/05 032200/05 032201/05 032202/05 032203/05 032204/05 032205/05 032206/05 032207/05 032208/05 032209/05 032210/05 032211/05 032212/05 032213/05 032214/05 032215/05 032216/05 0322</small>		



Los resultados reflejados en este Acta solo afectan a la muestra ensayada. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización escrita de GEOCISA

GEOCISA		Hoja 2 de 3
ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS		
PETICIONARIO: TECNOLOGIA Y SERVICIOS AGRARIOS, S.A (TRAGSATEC)		O.E.: 2761
DIRECCIÓN PETICIONARIO: C/JULIAN CAMARILLO, 6--B		
DIRECCIÓN OBRA: C/JULIAN CAMARILLO, 6--B; 28037, Madrid		
OBRA: CAMPAÑA ANALISIS ESTABILIDAD REHABILITACION CASTILLO SAN SEBASTIAN Y MALECON		
CÓDIGO MUESTRA:	.2009/7634	
FECHA TOMA:	30/06/2009	FECHA REGISTRO: 07/07/2009
MODALIDAD DE MUESTREO: ML		
MATERIAL DE LA MUESTRA: TESTIGO DE HORMIGON		
DESCRIPCIÓN Y OTROS: TESTIGO DE HORMIGON D.143 MM		
CÓDIGO ACTA :	2009/12597	FECHA ACTA: 22/07/2009
S/REF-PROCEDENCIA: HME-3		
LOCALIZACION:		
DATOS COMPLEMENTARIOS: ENSAYO REALIZADO SOBRE INICIO TESTIGO		
ANÁLISIS QUÍMICO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN		
HORMIGONES, CLORUROS - UNE EN 112010		
Fecha inicio ensayo	16/07/2009	
Fecha fin ensayo	16/07/2009	
CLORUROS	%	0,09
Datos Complementarios		

LOS ENSAYOS SUBCONTRATADOS SE INDICAN CON **

RESPONSABLE TÉCNICO

Fdo.: Eva González Arcenillas
(Lda. Ciencias Químicas)

Madrid, 22 de julio de 2009

RESPONSABLE INORGÁNICA

Fdo.: Mª Isabel Pando González
(Lda. Ciencias Químicas)

RO-M. CONSTRUCCIÓN	<small>LABORATORIO ACREDITADO POR LA COMUNIDAD DE MADRID FECHA CONCESIÓN 07/03/05 N° REGISTRO DE LABORATORIO Acreditado 03112PH05 03114GTU05 03115CTU05 03116VAG05 03117EAF05 03118EAF05 03119AF05 03120AF05 03121WCC05 03122ACH05 03123APC05 03124AF05 Y 03125ALC05</small>
--------------------	--

Geotecnia y Cimentos, S.A. Los Llanos de Jerez, 10 y 12. - 28823 Costada (Madrid) - Teléf. 91 660 30 00 - Fax 91 671 64 10
Laboratorio Central de Geocisa en, Costada



Los resultados reflejados en este Acta solo afectan a la muestra ensayada. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización escrita de GEOCISA

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="background-color: #333; color: white; padding: 2px 5px; font-weight: bold; font-size: 1.2em;">GEOCISA</div> <div> ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS </div> </div>	
PETICIONARIO: TECNOLOGIA Y SERVICIOS AGRARIOS, S.A (TRAGSATEC)	
O.E.: 2761	
DIRECCIÓN PETICIONARIO: C/JULIAN CAMARILLO, 6--B	
DIRECCIÓN OBRA: C/JULIAN CAMARILLO, 6--B; 28037, Madrid	
OBRA: CAMPAÑA ANALISIS ESTABILIDAD REHABILITACION CASTILLO SAN SEBASTIAN Y MALECON	
CÓDIGO MUESTRA: .2009/7634	
FECHA TOMA: 30/06/2009	FECHA REGISTRO: 07/07/2009
MODALIDAD DE MUESTREO: ML	
MATERIAL DE LA MUESTRA: TESTIGO DE HORMIGON	
DESCRIPCIÓN Y OTROS: TESTIGO DE HORMIGON D.143 MM	
CÓDIGO ACTA : 2009/12598	
FECHA ACTA: 22/07/2009	
S/REF-PROCEDENCIA: HME-3	
LOCALIZACION:	
DATOS COMPLEMENTARIOS: ENSAYO REALIZADO SOBRE FIN TESTIGO	
ANÁLISIS QUÍMICO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	
HORMIGONES, CLORUROS - UNE EN 112010	
Fecha inicio ensayo	16/07/2009
Fecha fin ensayo	16/07/2009
CLORUROS	% 0,13
Datos Complementarios	
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: flex-end;"> <div style="width: 45%;"> <p>LOS ENSAYOS SUBCONTRATADOS SE INDICAN CON **</p> <p>RESPONSABLE TÉCNICO</p> <div style="margin-top: 20px;"> </div> <p>Fdo.: Eva González Arcenillas (Lda. Ciencias Químicas)</p> </div> <div style="width: 45%; text-align: right;"> <p>Madrid, 22 de julio de 2009</p> <p>RESPONSABLE INORGÁNICA</p> <div style="margin-top: 20px;"> </div> <p>Fdo.: Mª Isabel Pando González (Lda. Ciencias Químicas)</p> </div> </div> <div style="text-align: right; margin-top: 20px;"> </div>	
<small> RQ-M. CONSTRUCCIÓN LABORATORIO ACREDITADO POR LA COMUNIDAD DE MADRID FECHA CONCESIÓN 07/03/05 N° REGISTRO DE LABORATORIO 4018212001031135HARS/031403LUG/03115031CAG/03110500503117EAP55/0311EAS55/03118APC08/031203PH08/03121AGC08/03122ACH08/03123APC08/03124PH08 Y 03128AR08 Geotecnia y Cimientos, S.A. Los Llanos de Jerez, 10 y 12. - 28823 Costada (Madrid) - Teléf. 91 660 30 00 - Fax 91 671 64 10 Laboratorio Central de Geocisa en, Costada </small>	

Hoja 1 de 3

GEOCISA

ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS

PETICIONARIO: TECNOLOGIA Y SERVICIOS AGRARIOS, S.A (TRAGSATEC)		O.E.: 2761
DIRECCIÓN PETICIONARIO: C/JULIAN CAMARILLO, 6-B		
DIRECCIÓN OBRA: C/JULIAN CAMARILLO, 6-B; 28037, Madrid		
OBRA: CAMPAÑA ANALISIS ESTABILIDAD REHABILITACION CASTILLO SAN SEBASTIAN Y MALECON		
CÓDIGO MUESTRA:	.2009/7635	
FECHA TOMA:	30/06/2009	FECHA REGISTRO: 07/07/2009
MODALIDAD DE MUESTREO: ML		
MATERIAL DE LA MUESTRA: TESTIGO DE HORMIGON		
DESCRIPCIÓN Y OTROS: TESTIGO DE HORMIGON D.143 MM		
CÓDIGO ACTA :	2009/12584	FECHA ACTA: 22/07/2009
S/REF-PROCEDENCIA: HME-4		
LOCALIZACION:		
DATOS COMPLEMENTARIOS: ENSAYO SOBRE TRAMO CENTRAL TESTIGO		

ANÁLISIS QUÍMICO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

HORMIGONES , ANHÍDRIDO SULFÚRICO

Fecha inicio ensayo	17/07/2009
Fecha fin ensayo	21/07/2009
ANHÍDRIDO SULFÚRICO	% 0,61
Datos Complementarios	

LOS ENSAYOS SUBCONTRATADOS SE INDICAN CON **

RESPONSABLE TÉCNICO

Fdo.: Eva González Arcenillas
(Lda. Ciencias Químicas)

Madrid, 22 de julio de 2009

RESPONSABLE INORGÁNICA

P.A. Isabel Pando

Fdo.: M^a Isabel Pando González
(Lda. Ciencias Químicas)

RQ-M CONSTRUCCIÓN

LABORATORIO ACREDITADO POR LA COMUNIDAD DE MADRID FECHA CONCESIÓN 07/03/08 N° REGISTRO DE LABORATORIO
ACREDITADO 03113EH/05 031142TL05 03115GTC05 03116VGG05 03117EAP05 03118EA05 03115AF05 03120F05 03121ACC05 03122AC05 03123AF05 03124PF05 Y
LABORATION

Laboratorio Central de Bacterias en Ciudad

GEOCISA

Hoja 3 de 3

PETICIONARIO: TECNOLOGIA Y SERVICIOS AGRARIOS, S.A (TRAGSATEC)		O.E.: 2761
DIRECCIÓN PETICIONARIO: C/JULIAN CAMARILLO, 6-B		
DIRECCIÓN OBRA: C/JULIAN CAMARILLO, 6-B; 28037, Madrid		
OBRA: CAMPAÑA ANALISIS ESTABILIDAD REHABILITACION CASTILLO SAN SEBASTIAN Y MALECON		
CÓDIGO MUESTRA:	2009/7635	
FECHA TOMA:	30/06/2009	FECHA REGISTRO: 07/07/2009
MODALIDAD DE MUESTREO: ML		
MATERIAL DE LA MUESTRA: TESTIGO DE HORMIGON		
DESCRIPCIÓN Y OTROS: TESTIGO DE HORMIGON D.143 MM		
CÓDIGO ACTA :	2009/12600	FECHA ACTA: 22/07/2009
S/REF-PROCEDENCIA: HME-4		
LOCALIZACION:		
DATOS COMPLEMENTARIOS: ENSAYO REALIZADO SOBRE FIN TESTIGO		

HORMIGONES, CLORUROS - UNE EN 112010	
Fecha inicio ensayo	16/07/2009
Fecha fin ensayo	16/07/2009
CLORUROS	% 0,12
Datos Complementarios	



P.A. Indy Rod

LABORATORIO ACREDITADO POR LA COMUNIDAD DE MADRID FECHA CONCESIÓN 07/03/05 N° REGISTRO DE LABORATORIO
ACREDITADO 03113HA05,031143TL05,03115GT05,03116VG05,03117EAF05,03118EA505,03119AF05,03120AF05,03121AAC05,03122ACH05,03123AP05,03124PH05

Geotecnia y Cimientos, S.A. Los Llanos de Jerez, 10 y 12. - 28823 Coslada (Madrid) - Teléf. 91 660 30 00 - Fax 91 671 64 10

GEOCISA

ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS

PETICIONARIO: TECNOLOGIA Y SERVICIOS AGRARIOS, S.A (TRAGSATEC)		O.E.:2761
DIRECCIÓN PETICIONARIO: C/JULIAN CAMARILLO,6--B		
DIRECCIÓN OBRA: C/JULIAN CAMARILLO,6--B;28037, Madrid		
OBRA: CAMPAÑA ANALISIS ESTABILIDAD REHABILITACION CASTILLO SAN SEBASTIAN Y MALECON		
CÓDIGO MUESTRA:	.2009/7636	
FECHA TOMA:	30/06/2009	FECHA REGISTRO: 07/07/2009
MODALIDAD DE MUESTREO: ML		
MATERIAL DE LA MUESTRA: TESTIGO DE HORMIGON		
DESCRIPCIÓN Y OTROS:	TESTIGO DE HORMIGON D.143 MM	
CÓDIGO ACTA :	2009/12585	FECHA ACTA: 22/07/2009
S/REF-PROCEDENCIA:	HME-5	
LOCALIZACION:		
DATOS COMPLEMENTARIOS: ENSAYO SOBRE TRAMO CENTRAL TESTIGO		

ANÁLISIS QUÍMICO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

HORMIGONES , ANHÍDRIDO SULFÚRICO	
Fecha inicio ensayo	17/07/2009
Fecha fin ensayo	21/07/2009
ANHÍDRIDO SULFÚRICO	% 0,51
Datos Complementarios	



P.A. Talad Roq

Geotecnia y Cimientos, S.A. Los Llanos de Jerez, 10 y 12. - 28823 Coslada (Madrid) - Teléf. 91 660 30 00 - Fax 91 671 64 10



Los resultados reflejados en este Acta solo afectan a la muestra ensayada. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización escrita de GEOCISA

GEOCISA		Hoja 2 de 3
ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS		
PETICIONARIO: TECNOLOGIA Y SERVICIOS AGRARIOS, S.A (TRAGSATEC)		O.E.: 2761
DIRECCIÓN PETICIONARIO: C/JULIAN CAMARILLO, 6--B		
DIRECCIÓN OBRA: C/JULIAN CAMARILLO, 6--B; 28037, Madrid		
OBRA: CAMPAÑA ANALISIS ESTABILIDAD REHABILITACION CASTILLO SAN SEBASTIAN Y MALECON		
CÓDIGO MUESTRA:	.2009/7636	
FECHA TOMA:	30/06/2009	FECHA REGISTRO: 07/07/2009
MODALIDAD DE MUESTREO: ML		
MATERIAL DE LA MUESTRA: TESTIGO DE HORMIGON		
DESCRIPCIÓN Y OTROS: TESTIGO DE HORMIGON D.143 MM		
CÓDIGO ACTA :	2009/12601	FECHA ACTA: 22/07/2009
S/REF-PROCEDENCIA: HME-5		
LOCALIZACION:		
DATOS COMPLEMENTARIOS: ENSAYO REALIZADO SOBRE INICIO TESTIGO		
ANÁLISIS QUÍMICO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN		
HORMIGONES, CLORUROS - UNE EN 112010		
Fecha inicio ensayo	16/07/2009	
Fecha fin ensayo	16/07/2009	
CLORUROS	%	0,11
Datos Complementarios		
LOS ENSAYOS SUBCONTRATADOS SE INDICAN CON **		
RESPONSABLE TÉCNICO Fdo.: Eva González Arcenillas (Lda. Ciencias Químicas)		
RESPONSABLE INORGÁNICO Madrid, 22 de julio de 2009 Fdo.: Mª Isabel Pando González (Lda. Ciencias Químicas)		
<small> LABORATORIO ACREDITADO POR LA COMUNIDAD DE MADRID FECHA CONCESIÓN 07/03/05 N° REGISTRO DE LABORATORIO 2009/07/05 Acreditado por la Comunidad de Madrid para la realización de ensayos de control de calidad en el sector de la construcción RQ-M. CONSTRUCCIÓN </small>		
<small> Geotecnia y Cimientos, S.A. Los Llanos de Jerez, 10 y 12. - 28823 Coslada (Madrid) - Teléf. 91 660 30 00 - Fax 91 671 64 10 Laboratorio Central de Geocisa en Coslada </small>		



Los resultados reflejados en este Acta solo afectan a la muestra ensayada. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización escrita de GEOCISA

GEOCISA		Hoja 3 de 3
ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS		
PETICIONARIO: TECNOLOGIA Y SERVICIOS AGRARIOS, S.A (TRAGSATEC)		O.E.: 2761
DIRECCIÓN PETICIONARIO: C/JULIAN CAMARILLO, 6--B		
DIRECCIÓN OBRA: C/JULIAN CAMARILLO, 6--B; 28037, Madrid		
OBRA: CAMPAÑA ANALISIS ESTABILIDAD REHABILITACION CASTILLO SAN SEBASTIAN Y MALECON		
CÓDIGO MUESTRA:	.2009/7636	
FECHA TOMA:	30/06/2009	FECHA REGISTRO: 07/07/2009
MODALIDAD DE MUESTREO: ML		
MATERIAL DE LA MUESTRA: TESTIGO DE HORMIGON		
DESCRIPCIÓN Y OTROS: TESTIGO DE HORMIGON D.143 MM		
CÓDIGO ACTA :	2009/12602	FECHA ACTA: 22/07/2009
S/REF-PROCEDENCIA: HME-5		
LOCALIZACION:		
DATOS COMPLEMENTARIOS: ENSAYO REALIZADO SOBRE FIN TESTIGO		
ANÁLISIS QUÍMICO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN		
HORMIGONES, CLORUROS - UNE EN 112010		
Fecha inicio ensayo	16/07/2009	
Fecha fin ensayo	16/07/2009	
CLORUROS	%	0,17
Datos Complementarios		

LOS ENSAYOS SUBCONTRATADOS SE INDICAN CON **

RESPONSABLE TÉCNICO

[Firma]

Fdo.: Eva González Arcenillas
(Lda. Ciencias Químicas)

Madrid, 22 de julio de 2009

RESPONSABLE INORGÁNICA

P.A. Isabel Pando

Fdo.: Mª Isabel Pando González
(Lda. Ciencias Químicas)

RQ-M. CONSTRUCCIÓN	LABORATORIO ACREDITADO POR LA COMUNIDAD DE MADRID FECHA CONCESIÓN 07/03/05 N° REGISTRO DE LABORATORIO ACREDITADO 03113ENAF05.031142 TL06.031152 TC05.031165 GC05.03117E AF05.03118E AS05.03119E AF05.031205 PH08.03121A CC05.03122A CH05.03123A FC05.03124A FH05 Y 03125A
--------------------	---

Geotecnia y Cimientos, S.A. Los Llanos de Jerez, 10 y 12 - 28823 Costada (Madrid) - Teléf. 91 660 30 00 - Fax 91 671 64 10
Laboratorio Central de Geocisa en Costada



Los resultados reflejados en este Acta solo afectan a la muestra ensayada. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización escrita de GEOCISA

GEOCISA		Hoja 1 de 3
ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS		
PETICIONARIO: TECNOLOGIA Y SERVICIOS AGRARIOS, S.A (TRAGSATEC)		O.E.: 2761
DIRECCIÓN PETICIONARIO: C/JULIAN CAMARILLO, 6--B		
DIRECCIÓN OBRA: C/JULIAN CAMARILLO, 6--B; 28037, Madrid		
OBRA: CAMPAÑA ANALISIS ESTABILIDAD REHABILITACION CASTILLO SAN SEBASTIAN Y MALECON		
CÓDIGO MUESTRA:	.2009/7637	
FECHA TOMA:	30/06/2009	FECHA REGISTRO: 07/07/2009
MODALIDAD DE MUESTREO: ML		
MATERIAL DE LA MUESTRA: TESTIGO DE HORMIGON		
DESCRIPCIÓN Y OTROS: TESTIGO DE HORMIGON D.100 MM		
CÓDIGO ACTA :	2009/12586	FECHA ACTA: 22/07/2009
S/REF-PROCEDENCIA: HME-6		
LOCALIZACION:		
DATOS COMPLEMENTARIOS: ENSAYO SOBRE TRAMO CENTRAL TESTIGO		
ANÁLISIS QUÍMICO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN		
HORMIGONES , ANHÍDRIDO SULFÚRICO		
Fecha inicio ensayo	17/07/2009	
Fecha fin ensayo	21/07/2009	
ANHÍDRIDO SULFÚRICO	%	0,58
Datos Complementarios		
<p>LOS ENSAYOS SUBCONTRATADOS SE INDICAN CON **</p> <p>RESPONSABLE TÉCNICO</p> <p style="text-align: right;">Fdo.: Eva González Arcenillas (Lda. Ciencias Químicas)</p> <p style="text-align: right;">Fdo.: M^a Isabel Pando González (Lda. Ciencias Químicas)</p>		
<p>Madrid, 22 de julio de 2009</p> <p>RESPONSABLE INORGÁNICA</p> <p style="text-align: center;">P.A. Isabel Pando</p>		
<p>RQ-M CONSTRUCCIÓN</p> <p style="font-size: small;">LABORATORIO ACREDITADO POR LA COMUNIDAD DE MADRID FECHA CONCESIÓN 07/03/08 Y REGISTRO DE LABORATORIO ACREDITADO 03113EH05 031142TL05 031155TC05 03116V3G05 03117EAF05 03118EAK05 03119AF05 03120ATH05 03121ACC05 03122ACH05 03123AP05 03124FPH05 Y 03125AN05</p> <p style="font-size: x-small;">Geotecnia y Cimientos, S.A. Los Llanos de Jerez, 10 y 12. - 28823 Coslada (Madrid) - Teléf. 91 660 30 00 - Fax 91 671 64 10</p> <p style="font-size: x-small;">Laboratorio Central de Geocisa en Coslada</p>		



Los resultados reflejados en este Acta solo afectan a la muestra ensayada. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización escrita de GEOCISA

<div style="display: inline-block; background-color: #333; color: white; padding: 2px 5px; font-weight: bold; font-size: 1.2em;">GEOCISA</div> <div style="display: inline-block; margin-left: 10px;"> ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS </div>		Hoja 2 de 3
PETICIONARIO: TECNOLOGIA Y SERVICIOS AGRARIOS, S.A (TRAGSATEC)		O.E.: 2761
DIRECCIÓN PETICIONARIO: C/JULIAN CAMARILLO, 6--B		
DIRECCIÓN OBRA: C/JULIAN CAMARILLO, 6--B; 28037, Madrid		
OBRA: CAMPAÑA ANALISIS ESTABILIDAD REHABILITACION CASTILLO SAN SEBASTIAN Y MALECON		
CÓDIGO MUESTRA: .2009/7637		
FECHA TOMA: 30/06/2009		FECHA REGISTRO: 07/07/2009
MODALIDAD DE MUESTREO: ML		
MATERIAL DE LA MUESTRA: TESTIGO DE HORMIGON		
DESCRIPCIÓN Y OTROS: TESTIGO DE HORMIGON D.100 MM		
CÓDIGO ACTA : 2009/12603		FECHA ACTA: 22/07/2009
S/REF-PROCEDENCIA: HME-6		
LOCALIZACION:		
DATOS COMPLEMENTARIOS: ENSAYO REALIZADO SOBRE INICIO TESTIGO		
ANÁLISIS QUÍMICO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN		
HORMIGONES, CLORUROS - UNE EN 112010		
Fecha inicio ensayo		16/07/2009
Fecha fin ensayo		16/07/2009
CLORUROS		% 0,08
Datos Complementarios		
<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; width: 150px; margin: 0 auto;"> GEOCISA </div>		
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>LOS ENSAYOS SUBCONTRATADOS SE INDICAN CON **</p> <p>RESPONSABLE TÉCNICO</p> <div style="text-align: center;"> </div> <p>Fdo.: Eva González Arcenillas (Lda. Ciencias Químicas)</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>Madrid, 22 de julio de 2009</p> <p>RESPONSABLE INORGÁNICA</p> <div style="text-align: center;"> </div> <p>Fdo.: Mª Isabel Pando González (Lda. Ciencias Químicas)</p> </div> </div>		
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="width: 20%;"> RQ-M. CONSTRUCCIÓN </div> <div style="width: 60%; font-size: 0.8em;"> <small>LABORATORIO ACREDITADO POR LA COMUNIDAD DE MADRID FECHA CONEXIÓN: 01/07/03 05 A NÚMERO DE LABORATORIO ACREDITADO: 03112EHA05, 03114QTL05, 03115GTC05, 03116VSG05, 03117EAP05, 03118EA505, 03119PFC05, 03120AFK05, 03121ACC05, 03122ACH05, 03123AFK05, 03124PH05 Y 03125AL05</small> </div> <div style="width: 20%; text-align: right;"> CON LA PREVENCIÓN </div> </div>		
<small>Geotecnia y Cimientos, S.A. Los Llanos de Jerez, 10 y 12 - 28823 Coslada (Madrid) - Teléf. 91 660 30 00 - Fax 91 671 64 10</small>		



Los resultados reflejados en este Acta solo afectan a la muestra ensayada. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización escrita de GEOCISA.

GEOCISA		Hoja 3 de 3
ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS		
PETICIONARIO: TECNOLOGIA Y SERVICIOS AGRARIOS, S.A (TRAGSATEC)		O.E.: 2761
DIRECCIÓN PETICIONARIO: C/JULIAN CAMARILLO, 6--B		
DIRECCIÓN OBRA: C/JULIAN CAMARILLO, 6--B; 28037, Madrid		
OBRA: CAMPAÑA ANALISIS ESTABILIDAD REHABILITACION CASTILLO SAN SEBASTIAN Y MALECON		
CÓDIGO MUESTRA: .2009/7637		
FECHA TOMA:	30/06/2009	FECHA REGISTRO: 07/07/2009
MODALIDAD DE MUESTREO: ML		
MATERIAL DE LA MUESTRA: TESTIGO DE HORMIGON		
DESCRIPCIÓN Y OTROS: TESTIGO DE HORMIGON D.100 MM		
CÓDIGO ACTA :	2009/12604	FECHA ACTA: 22/07/2009
S/REF-PROCEDENCIA: HME-6		
LOCALIZACION:		
DATOS COMPLEMENTARIOS: ENSAYO REALIZADO SOBRE FIN TESTIGO		
ANÁLISIS QUÍMICO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN		
HORMIGONES, CLORUROS - UNE EN 112010		
Fecha inicio ensayo	16/07/2009	
Fecha fin ensayo	16/07/2009	
CLORUROS	%	0,16
Datos Complementarios		
<p>LOS ENSAYOS SUBCONTRATADOS SE INDICAN CON **</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>RESPONSABLE TÉCNICO</p> <p><i>[Signature]</i></p> <p>Fdo.: Eva González Arcenillas (Lda. Ciencias Químicas)</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>Madrid, 22 de julio de 2009</p> <p>RESPONSABLE INORGÁNICA</p> <p><i>[Signature]</i></p> <p>Fdo.: M^a Isabel Pando González (Lda. Ciencias Químicas)</p> </div> </div> <div style="text-align: right; margin-top: 10px;"> </div>		
<small> RQ-M CONSTRUCCIÓN LABORATORIO ACREDITADO POR LA COMUNIDAD DE MADRID FECHA CONCESIÓN 07/03/05 N° REGISTRO DE LABORATORIO ACREDITADO 03113EHI05 03114GTL05 03115GTC05 03116VSG05 03117EAP05 03118EAS05 03119APC05 03120AFH05 03121ACC05 03122ACH05 03123APC05 03124PH05 Y 03125AM05 Geotecnia y Cimientos, S.A. Los Llanos de Jerez, 10 y 12. - 28823 Coslada (Madrid) - Teléf. 91 660 30 00 - Fax 91 671 64 10 Laboratorio Central de Geocisa en, Coslada </small>		



Los resultados reflejados en este Acta solo afectan a la muestra ensayada. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización escrita de GEOCISA.

ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS		Hoja 1 de 3
PETICIONARIO: TECNOLOGIA Y SERVICIOS AGRARIOS, S.A (TRAGSATEC)		O.E.: 2761
DIRECCIÓN PETICIONARIO: C/JULIAN CAMARILLO, 6-B		
DIRECCIÓN OBRA: C/JULIAN CAMARILLO, 6-B; 28037, Madrid		
OBRA: CAMPAÑA ANALISIS ESTABILIDAD REHABILITACION CASTILLO SAN SEBASTIAN Y MALECON		
CÓDIGO MUESTRA: .2009/7640		
FECHA TOMA: 30/06/2009		FECHA REGISTRO: 07/07/2009
MODALIDAD DE MUESTREO: ML		
MATERIAL DE LA MUESTRA: TESTIGO DE HORMIGON		
DESCRIPCIÓN Y OTROS: TESTIGO DE HORMIGON D.100 MM (LADRILLO ANTERIOR AL HORMIGON)		
CÓDIGO ACTA : 2009/12587		FECHA ACTA: 22/07/2009
S/REF-PROCEDENCIA: HMI-1 BIS		
LOCALIZACIÓN:		
DATOS COMPLEMENTARIOS: ENSAYO SOBRE TRAMO CENTRAL TESTIGO		
ANÁLISIS QUÍMICO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN		
HORMIGONES , ANHÍDRIDO-SULFÚRICO		
Fecha inicio ensayo		17/07/2009
Fecha fin ensayo		21/07/2009
ANHÍDRIDO SULFÚRICO		% 0,93
Datos Complementarios		
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>LOS ENSAYOS SUBCONTRATADOS SE INDICAN CON * *</p> <p>RESPONSABLE TÉCNICO</p> <p style="text-align: center;"> </p> <p>Fdo.: Eva González Arcenillas (Lda. Ciencias Químicas)</p> </div> <div style="width: 45%; text-align: right;"> <p>Madrid, 22 de julio de 2009</p> <p>RESPONSABLE INORGÁNICA</p> <p style="text-align: center;"> </p> <p>Fdo.: Mª Isabel Pando González (Lda. Ciencias Químicas)</p> </div> </div> <div style="text-align: right; margin-top: 10px;"> </div>		
<small> RQ-M CONSTRUCCIÓN LABORATORIO ACREDITADO POR LA COMISIÓN DE MAYOR FECHA CONCESIÓN 07/03/05 IN REGISTRO DE LABORATORIO ACREDITADO 03113EH/05 03114GJ/05 03115GT/05 03116VU/05 03117EAP/05 03118EAS/05 03119BFC/05 03120AP/05 03121ACC/05 03122ACH/05 03123MPC/05 03124PH/05 Y 03125RAN/05 Geotecnia y Cimientos, S.A. Los Llanos de Jerez, 10 y 12. - 28823 Coslada (Madrid) - Teléf. 91 660 30 00 - Fax 91 671 64 10 Laboratorio Central de Geocisa en Coslada </small>		



Los resultados reflejados en este Acta solo afectan a la muestra ensayada. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización escrita de GEOCISA.

<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> </div> <div> ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS </div> </div>	
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> PETICIONARIO: TECNOLOGIA Y SERVICIOS AGRARIOS, S.A (TRAGSATEC) O.E.: 2761 </div>	
DIRECCIÓN PETICIONARIO: C/JULIAN CAMARILLO, 6-B	
DIRECCIÓN OBRA: C/JULIAN CAMARILLO, 6-B; 28037, Madrid	
OBRA: CAMPAÑA ANALISIS ESTABILIDAD REHABILITACION CASTILLO SAN SEBASTIAN Y MALECON	
CÓDIGO MUESTRA: .2009/7640	
FECHA TOMA: 30/06/2009	FECHA REGISTRO: 07/07/2009
MODALIDAD DE MUESTREO: ML	
MATERIAL DE LA MUESTRA: TESTIGO DE HORMIGON	
DESCRIPCIÓN Y OTROS: TESTIGO DE HORMIGON D.100 MM (LADRILLO ANTERIOR AL HORMIGON)	
CÓDIGO ACTA : 2009/12605	FECHA ACTA: 22/07/2009
S/REF-PROCEDENCIA: HMI-1 BIS	
LOCALIZACION:	
DATOS COMPLEMENTARIOS: ENSAYO REALIZADO SOBRE INICIO TESTIGO	
ANÁLISIS QUÍMICO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	
HORMIGONES, CLORUROS - UNE EN 112010	
Fecha inicio ensayo	16/07/2009
Fecha fin ensayo	16/07/2009
CLORUROS	% 0,11
Datos Complementarios	
LOS ENSAYOS SUBCONTRATADOS SE INDICAN CON **	
RESPONSABLE TÉCNICO Fdo.: Eva González Arce (Lda. Ciencias Químicas)	Madrid, 22 de julio de 2009 RESPONSABLE INORGÁNICA Fdo.: Mª Isabel Pando González (Lda. Ciencias Químicas)
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> RQ-M. CONSTRUCCIÓN </div> <div> <small> LABORATORIO ACREDITADO POR LA COMUNIDAD DE MADRID FECHA CONCESIÓN 07/03/05 N° REGISTRO DE LABORATORIO ACREDITADO 03112EHA05, 031143TL05, 03115GTC05, 03116VSG05, 03117EAF05, 03118EAS05, 03119AF05, 03120AF05, 03121ACC05, 03122ACH05, 03123APC05, 03124PH05 Y 03125A05 </small> </div> </div>	
<small> Geotecnia y Cimientos, S.A. Los Llanos de Jerez, 10 y 12 - 28823 Coslada (Madrid) - Teléf. 91 660 30 00 - Fax 91 671 64 10 Laboratorio Central de Geocisa en Coslada </small>	



Hoja 3 de 3

GEOCISA**ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS**

PETICIONARIO: TECNOLOGIA Y SERVICIOS AGRARIOS, S.A. (TRAGSATEC)		O.E.: 2761
DIRECCIÓN PETICIONARIO: C/JULIAN CAMARILLO, 6--B		
DIRECCIÓN OBRA: C/JULIAN CAMARILLO, 6--B; 28037, Madrid		
OBRA: CAMPAÑA ANALISIS ESTABILIDAD REHABILITACION CASTILLO SAN SEBASTIAN Y MALECON		
CÓDIGO MUESTRA:	.2009/7640	
FECHA TOMA:	30/06/2009	FECHA REGISTRO: 07/07/2009
MODALIDAD DE MUESTREO: ML		
MATERIAL DE LA MUESTRA: TESTIGO DE HORMIGON		
DESCRIPCIÓN Y OTROS: TESTIGO DE HORMIGON D.100 MM (LADRILLO ANTERIOR AL HORMIGON)		
CÓDIGO ACTA :	2009/12606	FECHA ACTA: 22/07/2009
S/REF-PROCEDENCIA: HMI-1 BIS		
LOCALIZACION:		
DATOS COMPLEMENTARIOS: ENSAYO REALIZADO SOBRE FIN TESTIGO		

ANÁLISIS QUÍMICO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

HORMIGONES, CLORUROS - UNE EN 112010	
Fecha inicio ensayo	16/07/2009
Fecha fin ensayo	16/07/2009
CLORUROS	% 0,12
Datos Complementarios	

Los resultados reflejados en este Acta solo afectan a la muestra ensayada. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización escrita de GEOCISA

GEOCISA

LOS ENSAYOS SUBCONTRATADOS SE INDICAN CON * *

RESPONSABLE TÉCNICO

Fdo.: Eva González Arcenillas
(Lda. Ciencias Químicas)

Madrid, 22 de julio de 2009

RESPONSABLE INORGÁNICA

P.A. Isabel Pando

Fdo.: Mª Isabel Pando González
(Lda. Ciencias Químicas)

RQ-M. CONSTRUCCIÓN

LABORATORIO ACREDITADO POR LA COMUNIDAD DE MADRID FECHA CONCESIÓN 07/03/05 Y REGISTRO DE LABORATORIO
ACREDITADO 031118EAS/031140TL05/031150TC05/031160UG05/03117EAP/05/03118EAS/05/03119APC05/03120FHO05/03121ACC05/03122ACH05/03123APC05/03124FHO05 Y
03125EAS/05

Geotecnia y Cimientos, S.A. Los Llanos de Jerez, 10 y 12 - 28823 Coslada (Madrid) - Teléf. 91 660 30 00 - Fax 91 671 64 10
Laboratorio Central de Geocisa en Coslada



Los resultados reflejados en este Acta solo afectan a la muestra ensayada. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización escrita de GEOCISA.

ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS		Hoja 1 de 3
PETICIONARIO: TECNOLOGIA Y SERVICIOS AGRARIOS, S.A (TRAGSATEC)		O.E.: 2761
DIRECCIÓN PETICIONARIO: C/JULIAN CAMARILLO, 6-B		
DIRECCIÓN OBRA: C/JULIAN CAMARILLO, 6-B; 28037, Madrid		
OBRA: CAMPAÑA ANALISIS ESTABILIDAD REHABILITACION CASTILLO SAN SEBASTIAN Y MALECON		
CÓDIGO MUESTRA:	.2009/7641	
FECHA TOMA:	30/06/2009	FECHA REGISTRO: 07/07/2009
MODALIDAD DE MUESTREO: ML		
MATERIAL DE LA MUESTRA: TESTIGO DE HORMIGON		
DESCRIPCIÓN Y OTROS: TESTIGO DE HORMIGON D. 100 MM		
CÓDIGO ACTA :	2009/12588	FECHA ACTA: 22/07/2009
S/REF-PROCEDENCIA: HMI-2		
LOCALIZACION:		
DATOS COMPLEMENTARIOS: ENSAYO SOBRE TRAMO CENTRAL TESTIGO		
ANÁLISIS QUÍMICO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN		
HORMIGONES, ANHÍDRIDO SULFÚRICO		
Fecha inicio ensayo	17/07/2009	
Fecha fin ensayo	21/07/2009	
ANHÍDRIDO SULFÚRICO	%	0,92
Datos Complementarios		
<p>LOS ENSAYOS SUBCONTRATADOS SE INDICAN CON **</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>RESPONSABLE TÉCNICO</p> <p></p> <p>Fdo.: Eva González Arcenillas (Lda. Ciencias Químicas)</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>Madrid, 22 de julio de 2009</p> <p>RESPONSABLE INORGÁNICA</p> <p></p> <p>Fdo.: Mª Isabel Pando González (Lda. Ciencias Químicas)</p> </div> </div> <div style="text-align: right; margin-top: 10px;"> </div>		
<small> RQ-M. CONSTRUCCIÓN LABORATORIO ACREDITADO POR LA COMUNIDAD DE MADRID FECHA CONCESIÓN 07/03/05 N° REGISTRO DE LABORATORIO ACREDITADO 00113EHU05 00111GTL05 00119GTC05 00116VSG05 00117EAP05 00111EAS05 00116APC05 00120FHO05 00121ACC05 00122CH05 00123SPC05 00124FPH05 Y 00125MA05 Geotecnia y Cimientos, S.A. Los Llanos de Jerez, 10 y 12. - 28623 Coslada (Madrid) - Teléf. 91 660 30 00 - Fax 91 671 64 10 Laboratorio Central de Geocisa en, Coslada </small>		



Los resultados reflejados en este Acta solo afectan a la muestra ensayada. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización escrita de GEOCISA.

ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS		Hoja 2 de 3
PETICIONARIO: TECNOLOGIA Y SERVICIOS AGRARIOS, S.A. (TRAGSATEC)		O.E.: 2761
DIRECCIÓN PETICIONARIO: C/JULIAN CAMARILLO, 6-B		
DIRECCIÓN OBRA: C/JULIAN CAMARILLO, 6-B, 28037, Madrid		
OBRA: CAMPAÑA ANALISIS ESTABILIDAD REHABILITACION CASTILLO SAN SEBASTIAN Y MALECON		
CÓDIGO MUESTRA: 2009/7641		
FECHA TOMA: 30/06/2009		FECHA REGISTRO: 07/07/2009
MODALIDAD DE MUESTREO: ML		
MATERIAL DE LA MUESTRA: TESTIGO DE HORMIGON		
DESCRIPCIÓN Y OTROS: TESTIGO DE HORMIGON D.100 MM		
CÓDIGO ACTA : 2009/12607		FECHA ACTA: 22/07/2009
S/REF-PROCEDENCIA: HMI-2		
LOCALIZACION:		
DATOS COMPLEMENTARIOS: ENSAYO REALIZADO SOBRE INICIO TESTIGO		
ANÁLISIS QUÍMICO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN		
HORMIGONES, CLORUROS - UNE EN 112010		
Fecha inicio ensayo		16/07/2009
Fecha fin ensayo		16/07/2009
CLORUROS		% 0,17
Datos Complementarios		
LOS ENSAYOS SUBCONTRATADOS SE INDICAN CON **		
RESPONSABLE TÉCNICO 		Madrid, 22 de julio de 2009 RESPONSABLE INORGÁNICA
Fdo.: Eva González Arcenillas (Lda. Ciencias Químicas)		Fdo.: Mª Isabel Pando González (Lda. Ciencias Químicas)
<small> LABORATORIO ACREDITADO POR LA COMUNIDAD DE MADRID FECHA CONCESIÓN 07/03/05 IV REGISTRO DE LABORATORIO ACREDITADO 031113EN/05 031140 TL/05 031155 TC/05 031161 VG/05 031111 EA/05 031111 EA/05 031111 EA/05 031201 PH/05 031211 AC/05 031221 CH/05 031231 FC/05 031241 PH/05 Y 031251 AC/05 </small>		



Los resultados reflejados en este Acta solo afectan a la muestra ensayada. Prohíbese la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización escrita de GEOCISA.

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> </div> <div> ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS </div> </div>	
PETICIONARIO: TECNOLOGIA Y SERVICIOS AGRARIOS, S.A. (TRAGSATEC)	
O.E.: 2761	
DIRECCIÓN PETICIONARIO: C/JULIAN CAMARILLO, 6-B	
DIRECCIÓN OBRA: C/JULIAN CAMARILLO, 6-B; 28037, Madrid	
OBRA: CAMPAÑA ANALISIS ESTABILIDAD REHABILITACION CASTILLO SAN SEBASTIAN Y MALECON	
CÓDIGO MUESTRA: .2009/7641	
FECHA TOMA: 30/06/2009	FECHA REGISTRO: 07/07/2009
MODALIDAD DE MUESTREO: ML	
MATERIAL DE LA MUESTRA: TESTIGO DE HORMIGON	
DESCRIPCIÓN Y OTROS: TESTIGO DE HORMIGON D. 100 MM	
CÓDIGO ACTA: 2009/12608	
FECHA ACTA: 22/07/2009	
S/REF-PROCEDENCIA: HMI-2	
LOCALIZACION:	
DATOS COMPLEMENTARIOS: ENSAYO REALIZADO SOBRE FIN TESTIGO	
ANÁLISIS QUÍMICO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	
HORMIGONES, CLORUROS - UNE EN 112010	
Fecha inicio ensayo	16/07/2009
Fecha fin ensayo	16/07/2009
CLORUROS	% 0,04
Datos Complementarios	
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>LOS ENSAYOS SUBCONTRATADOS SE INDICAN CON **</p> <p>RESPONSABLE TÉCNICO</p> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;"> </div> <p>Fdo.: Eva González Arcenillas (Lda. Ciencias Químicas)</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>Madrid, 22 de julio de 2009</p> <p>RESPONSABLE INORGÁNICA</p> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;"> </div> <p>Fdo.: M^a Isabel Pando González (Lda. Ciencias Químicas)</p> </div> </div> <div style="text-align: right; margin-top: 20px;"> </div>	
<small> RQ-M. CONSTRUCCIÓN LABORATORIO ACREDITADO POR LA COMUNIDAD DE MADRID. FECHA CONCESIÓN 07/03/05. N.º REGISTRO DE LABORATORIO 2009/03113E4/05. 03114GTL05. 03115GTC05. 03116VZG05. 03117EAF05. 03118EAS05. 03119APC05. 03120FPH05. 03121ACC05. 03122ACH05. 03123APC05. 03124FPH05. 03125APC05. </small>	



Los resultados reflejados en este Acta solo afectan a la muestra ensayada. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización escrita de GEOCISA

GEOCISA		Hoja 1 de 3
ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS		
PETICIONARIO: TECNOLOGIA Y SERVICIOS AGRARIOS, S.A (TRAGSATEC)		O.E.: 2761
DIRECCIÓN PETICIONARIO: C/JULIAN CAMARILLO, 6-B		
DIRECCIÓN OBRA: C/JULIAN CAMARILLO, 6-B; 28037, Madrid		
OBRA: CAMPAÑA ANALISIS ESTABILIDAD REHABILITACION CASTILLO SAN SEBASTIAN Y MALECON		
CÓDIGO MUESTRA:	.2009/7642	
FECHA TOMA:	30/06/2009	FECHA REGISTRO: 07/07/2009
MODALIDAD DE MUESTREO: ML		
MATERIAL DE LA MUESTRA: TESTIGO DE HORMIGON		
DESCRIPCIÓN Y OTROS: TESTIGO DE HORMIGON D. 100 MM		
CÓDIGO ACTA :	2009/12589	FECHA ACTA: 22/07/2009
S/REF-PROCEDENCIA: HMI-3		
LOCALIZACION:		
DATOS COMPLEMENTARIOS: ENSAYO SOBRE TRAMO CENTRAL TESTIGO		
ANÁLISIS QUÍMICO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN		
HORMIGONES , ANHÍDRIDO SULFÚRICO		
Fecha inicio ensayo	17/07/2009	
Fecha fin ensayo	21/07/2009	
ANHÍDRIDO SULFÚRICO	%	0,79
Datos Complementarios		
<p>LOS ENSAYOS SUBCONTRATADOS SE INDICAN CON **</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>RESPONSABLE TÉCNICO</p> <p><i>[Signature]</i></p> <p>Fdo.: Eva González Arcenillas (Lda. Ciencias Químicas)</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>Madrid, 22 de julio de 2009</p> <p>RESPONSABLE INORGÁNICA</p> <p><i>[Signature]</i></p> <p>Fdo.: M^a Isabel Pando González (Lda. Ciencias Químicas)</p> </div> </div> <div style="text-align: right; margin-top: 10px;"> </div>		
<small> RQ-M CONSTRUCCIÓN LABORATORIO ACREDITADO POR LA COMUNIDAD DE MADRID FECHA CONCESIÓN 07/03/09 N° REGISTRO DE LABORATORIO ACREDITADO 031136HA05 031143TL05 031152TC05 03116VSG05 03117EAP05 03118EAS05 03119AF05 03120AF05 03121ACC05 03122ACH05 03123AP05 03124FP05 Y 03125AP05 Geotecnia y Cimientos, S.A. Los Llanos de Jerez, 10 y 12. - 28823 Coslada (Madrid) - Teléf. 91 660 30 00 - Fax 91 671 64 10 Laboratorio Central de Geocisa en Coslada </small>		

[illegible]

GEOCISA

ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS

PETICIONARIO: TECNOLOGIA Y SERVICIOS AGRARIOS, S.A (TRAGSATEC)		O.E.: 2761
DIRECCIÓN PETICIONARIO: C/JULIAN CAMARILLO, 6.-B		
DIRECCIÓN OBRA: C/JULIAN CAMARILLO, 6.-B; 28037, Madrid		
OBRA: CAMPAÑA ANALISIS ESTABILIDAD REHABILITACION CASTILLO SAN SEBASTIAN Y MALECON		
CÓDIGO MUESTRA:	.2009/7642	
FECHA TOMA:	30/06/2009	FECHA REGISTRO: 07/07/2009
MODALIDAD DE MUESTREO: ML		
MATERIAL DE LA MUESTRA: TESTIGO DE HORMIGON		
DESCRIPCIÓN Y OTROS:	TESTIGO DE HORMIGON D.100 MM	
CÓDIGO ACTA :	2009/12610	FECHA ACTA: 22/07/2009
S/REF-PROCEDENCIA:	HMI-3	
LOCALIZACION:		
DATOS COMPLEMENTARIOS: ENSAYO REALIZADO SOBRE FIN TESTIGO		

HORMIGONES, CLORUROS - UNE EN 112010

HORMIGONES, CLORUROS - UNE EN 112010		
Fecha inicio ensayo	16/07/2009	
Fecha fin ensayo	16/07/2009	
CLORUROS	%	0,04
Datos Complementarios		

RESPONSABLE TÉCNICO

RESPONSABLE INORGÁNICA

P.A. Isabel Roca

Fdo.: M^a Isabel Pando González
(Lda. Ciencias Químicas)



RQ-M. CONSTRUCCIÓN

Geotecnia y Cimientos, S.A. Los Llanos de Jerez, 10 y 12. - 28823 Coslada (Madrid) - Teléf. 91 660 30 00 - Fax 91 671 64 10



Los resultados reflejados en este Acta solo afectan a la muestra ensayada. Prohíbe la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización escrita de GEOCISA

GEOCISA		Hoja 1 de 3
ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS		
PETICIONARIO: TECNOLOGIA Y SERVICIOS AGRARIOS, S.A (TRAGSATEC)		O.E.: 2761
DIRECCIÓN PETICIONARIO: C/JULIAN CAMARILLO, 6--B		
DIRECCIÓN OBRA: C/JULIAN CAMARILLO, 6--B; 28037, Madrid		
OBRA: CAMPAÑA ANALISIS ESTABILIDAD REHABILITACION CASTILLO SAN SEBASTIAN Y MALECON		
CÓDIGO MUESTRA: .2009/7643		
FECHA TOMA:	30/06/2009	FECHA REGISTRO: 07/07/2009
MODALIDAD DE MUESTREO: ML		
MATERIAL DE LA MUESTRA: TESTIGO DE HORMIGON		
DESCRIPCIÓN Y OTROS: TESTIGO DE HORMIGON D.100 MM		
CÓDIGO ACTA :	2009/12590	FECHA ACTA: 22/07/2009
S/REF-PROCEDENCIA: HMI-4		
LOCALIZACION:		
DATOS COMPLEMENTARIOS: ENSAYO SOBRE TRAMO CENTRAL TESTIGO		
ANÁLISIS QUÍMICO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN		
HORMIGONES , ANHÍDRIDO SULFÚRICO		
Fecha inicio ensayo	17/07/2009	
Fecha fin ensayo	21/07/2009	
ANHÍDRIDO SULFÚRICO	%	0,86
Datos Complementarios		
LOS ENSAYOS SUBCONTRATADOS SE INDICAN CON **		
RESPONSABLE TÉCNICO		
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>Fdo.: Eva González Arcenillas (Lda. Ciencias Químicas)</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>Madrid, 22 de julio de 2009</p> <p>RESPONSABLE INORGÁNICA</p> <p>Fdo.: Mª Isabel Pando González (Lda. Ciencias Químicas)</p> </div> </div>		
<small> RQ-M. CONSTRUCCIÓN LABORATORIO ACREDITADO POR LA COMUNIDAD DE MADRID FECHA CONCESIÓN 07/03/05 Y REGISTRO DE LABORATORIO ACREDITADO 03113EHA05 03114GTL05 03115GTC05 03116VSG05 03117EAF05 03118EA505 03118AFC05 03120AFH05 03121ACC05 03122ACH05 03123APC05 03124PH05 Y 03125MAG05 Geotecnia y Cimentos, S.A. Los Llanos de Jerez, 10 y 12. - 28823 Costada (Madrid) - Teléf. 91 660 30 00 - Fax 91 671 64 10 Laboratorio Central de Geocisa en Costada </small>		

Hoja 2 de 3

GEOCISA

ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS

PETICIONARIO: TECNOLOGIA Y SERVICIOS AGRARIOS, S.A (TRAGSATEC)		O.E.: 2761
DIRECCIÓN PETICIONARIO: C/JULIAN CAMARILLO, 6-B		
DIRECCIÓN OBRA: C/JULIAN CAMARILLO, 6-B; 28037, Madrid		
OBRA: CAMPAÑA ANALISIS ESTABILIDAD REHABILITACION CASTILLO SAN SEBASTIAN Y MALECON		
CÓDIGO MUESTRA:	.2009/7643	
FECHA TOMA:	30/06/2009	FECHA REGISTRO: 07/07/2009
MODALIDAD DE MUESTREO: ML		
MATERIAL DE LA MUESTRA: TESTIGO DE HORMIGON		
DESCRIPCIÓN Y OTROS: TESTIGO DE HORMIGON D.100 MM		
CÓDIGO ACTA :	2009/12611	FECHA ACTA: 22/07/2009
S/REF-PROCEDENCIA: HMI-4		
LOCALIZACION:		
DATOS COMPLEMENTARIOS: ENSAYO REALIZADO SOBRE INICIO TESTIGO		

ANÁLISIS QUÍMICO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

HORMIGONES, CLORUROS - UNE EN 112010

Fecha inicio ensayo	16/07/2009
Fecha fin ensayo	16/07/2009
CLORUROS	% 0,19
Datos Complementarios	

LOS ENSAYOS SUBCONTRATADOS SE INDICAN CON **

RESPONSABLE TÉCNICO

Fdo.: Eva González Arcenillas
(Lda. Ciencias Químicas)

Madrid, 22 de julio de 2009

RESPONSABLE INORGÁNICA

P. A. Isabel Pando

Fdo.: M^a Isabel Pando González
(Lda. Ciencias Químicas)

RQ-M. CONSTRUCCIÓN

LABORATORIO ACREDITADO POR LA COMUNIDAD DE MADRID FECHA COEXCECIÓN 07/03/05 Y REGISTRO DE LABORATORIO
ACREDITADO POR SERVICIO DE ESTUDIOS Y PRUEBAS DE CONTROL DE CALIDAD DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN 03/12/2005 03/12/2005 03/12/2005 03/12/2005 03/12/2005 03/12/2005 03/12/2005 03/12/2005 03/12/2005 03/12/2005

Geotecnia y Cimientos, S.A. Los Llanos de Jerez, 10 y 12 - 28823 Coslada (Madrid) - Teléf. 91 660 30 00 - Fax 91 671 64 10

Hoja 3 de 3

GEOCISA

ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS

PETICIONARIO: TECNOLOGIA Y SERVICIOS AGRARIOS,S.A (TRAGSATEC)	O.E.:2761
DIRECCIÓN PETICIONARIO: C/JULIAN CAMARILLO,6--B	
DIRECCIÓN OBRA: C/JULIAN CAMARILLO,6-B;28037,Madrid	
OBRA: CAMPAÑA ANALISIS ESTABILIDAD REHABILITACION CASTILLO SAN SEBASTIAN Y MALECON	
CÓDIGO MUESTRA: .2009/7643	
FECHA TOMA: 30/06/2009	FECHA REGISTRO: 07/07/2009
MODALIDAD DE MUESTREO: ML	
MATERIAL DE LA MUESTRA: TESTIGO DE HORMIGON	
DESCRIPCIÓN Y OTROS: TESTIGO DE HORMIGON D.100 MM	
CÓDIGO ACTA : 2009/12612	FECHA ACTA: 22/07/2009
S/REF-PROCEDENCIA: HMI-4	
LOCALIZACION:	
DATOS COMPLEMENTARIOS:ENSAYO REALIZADO SOBRE FIN TESTIGO	

ANÁLISIS QUÍMICO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

HORMIGONES, CLORUROS - UNE EN 112010

Fecha inicio ensayo	16/07/2009
Fecha fin ensayo	16/07/2009
CLORUROS %	0,11
Datos Complementarios	

LOS ENSAYOS SUBCONTRATADOS SE INDICAN CON **

RESPONSABLE TÉCNICO

Fdo.: Eva González Arcenillas
(Lda. Ciencias Químicas)

Madrid, 22 de julio de 2009

RESPONSABLE INORGÁNICA

P.A. Isabel Pando

Fdo.: M^a Isabel Pando González
(Lda. Ciencias Químicas)

RG-M. CONSTRUCCIÓN

LABORATORIO ACREDITADO POR LA COMUNIDAD DE MADRID FECHA CONCESIÓN 07/03/05 N°REGISTRO DE LABORATORIO
EXCREDTADO 03113EAF05,0311491E05,0311551TC05,0311615G05,03117EAP05,03118EA505,03119AC05,03120AF05,03121ACC05,03122ACH05,03123AP05,03124FH05 Y
03125AJ05

Geotecnia y Cimientos, S.A. Los Llanos de Jerez, 10 y 12 - 28923 Coslada (Madrid) - Teléf. 91 660 30 00 - Fax 91 671 64 10



Los resultados reflejados en este Acta solo afectan a la muestra ensayada. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización escrita de GEOCISA

ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS		Hoja 1 de 3
PETICIONARIO: TECNOLOGIA Y SERVICIOS AGRARIOS, S.A (TRAGSATEC)		O.E.: 2761
DIRECCIÓN PETICIONARIO: C/JULIAN CAMARILLO, 6-B		
DIRECCIÓN OBRA: C/JULIAN CAMARILLO, 6-B; 28037, Madrid		
OBRA: CAMPAÑA ANALISIS ESTABILIDAD REHABILITACION CASTILLO SAN SEBASTIAN Y MALECON		
CÓDIGO MUESTRA: .2009/7644		
FECHA TOMA:	30/06/2009	FECHA REGISTRO: 07/07/2009
MODALIDAD DE MUESTREO: ML		
MATERIAL DE LA MUESTRA: TESTIGO DE HORMIGON		
DESCRIPCIÓN Y OTROS: TESTIGO DE HORMIGON D.100 MM		
CÓDIGO ACTA :	2009/12591	FECHA ACTA: 22/07/2009
S/REF-PROCEDENCIA: HMI-5		
LOCALIZACION:		
DATOS COMPLEMENTARIOS: ENSAYO SOBRE TRAMO CENTRAL TESTIGO		
ANÁLISIS QUÍMICO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN		
HORMIGONES , ANHÍDRIDO SULFÚRICO		
Fecha inicio ensayo	17/07/2009	
Fecha fin ensayo	21/07/2009	
ANHÍDRIDO SULFÚRICO	%	0,77
Datos Complementarios		
<p>LOS ENSAYOS SUBCONTRATADOS SE INDICAN CON **</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>RESPONSABLE TÉCNICO</p> <p></p> <p>Fdo.: Eva González Arcenillas (Lda. Ciencias Químicas)</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>Madrid, 22 de julio de 2009</p> <p>RESPONSABLE INORGÁNICA</p> <p></p> <p>Fdo.: Mª Isabel Pando González (Lda. Ciencias Químicas)</p> </div> </div> <div style="text-align: right; margin-top: 10px;"> </div>		
<small> RQ-M. CONSTRUCCIÓN LABORATORIO ACREDITADO POR LA COMUNIDAD DE MADRID FECHA CONCESIÓN 07/03/05 IV REGISTRO DE LABORATORIO ACREDITADO 03113EHA/05 031143 TL/05 03115GTC/05 03116V2G/05 03117EAP/05 03118EA/05 03119APC/05 03120AFH/05 03121ACC/05 03122ACH/05 03123APC/05 03124AFH/05 Y 03125MAD/05 Geotecnia y Cimientos, S.A. Los Llanos de Jerez, 10 y 12. - 28823 Coslada (Madrid) - Teléf. 91 660 30 00 - Fax 91 671 64 10 Laboratorio Central de Geocisa en, Coslada </small>		

PETICIONARIO: TECNOLOGIA Y SERVICIOS AGRARIOS, S.A (TRAGSATEC)		O.E.:2761
DIRECCIÓN PETICIONARIO: C/JULIAN CAMARILLO,6--B		
DIRECCIÓN OBRA: C/JULIAN CAMARILLO,6--B,28037,Madrid		
OBRA: CAMPAÑA ANALISIS ESTABILIDAD REHABILITACION CASTILLO SAN SEBASTIAN Y MALECON		
CÓDIGO MUESTRA:	.2009/7644	
FECHA TOMA:	30/06/2009	FECHA REGISTRO: 07/07/2009
MODALIDAD DE MUESTREO: ML		
MATERIAL DE LA MUESTRA: TESTIGO DE HORMIGON		
DESCRIPCIÓN Y OTROS:	TESTIGO DE HORMIGON D.100 MM	
CÓDIGO ACTA :	2009/12613	FECHA ACTA: 22/07/2009
SI/REF-PROCEDENCIA:	HMI-5	
LOCALIZACIÓN:		
DATOS COMPLEMENTARIOS: ENSAYO REALIZADO SOBRE INICIO TESTIGO		

HORMIGONES, CLORUROS - UNE EN 112010		
Fecha inicio ensayo	16/07/2009	
Fecha fin ensayo	16/07/2009	
CLORUROS	%	0,19
Datos Complementarios		

os resultados reflejados en este Acta solo afectan a la muestra ensayada. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización escrita de GEOCISA

RESPONSABLE TÉCNICO

Madrid, 22 de julio de 2009

RESPONSABLE INORGÁNICA

P.A. Tselal Boe

Fdo.: M^a Isabel Pando González
(Lda. Ciencias Químicas)



RQ-M. CONSTRUCCIÓN

LABORATORIO ACREDITADO POR LA COMUNIDAD DE MADRID FECHA CONCESIÓN 07/03/05 N° REGISTRO DE LABORATORIO
ACREDITADO 03113EHA/05 031143TL/05 03115GT/05 03116VS/G05 03117EAP/05 03118EAS/05 03119MFC/05 03120AFH/05 03121ACC/05 03122ACH/05 03123APC/05 03124MFG/05

Geotecnia y Cimientos, S.A. Los Llanos de Jerez, 10 y 12. - 28823 Coslada (Madrid) - Teléf. 91 660 30 00 - Fax 91 671 64 10

301



Los resultados reflejados en este Acta solo afectan a la muestra ensayada. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización escrita de GEOCISA.

GEOCISA		Hoja 1 de 3
ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS		
PETICIONARIO: TECNOLOGIA Y SERVICIOS AGRARIOS, S.A. (TRAGSATEC)		O.E.: 2761
DIRECCIÓN PETICIONARIO: C/JULIAN CAMARILLO, 6-B		
DIRECCIÓN OBRA: C/JULIAN CAMARILLO, 6-B, 28037, Madrid		
OBRA: CAMPAÑA ANALISIS ESTABILIDAD REHABILITACION CASTILLO SAN SEBASTIAN Y MALECON		
CÓDIGO MUESTRA: .2009/7645		
FECHA TOMA:	30/06/2009	FECHA REGISTRO: 07/07/2009
MODALIDAD DE MUESTREO: ML		
MATERIAL DE LA MUESTRA: TESTIGO DE HORMIGON		
DESCRIPCIÓN Y OTROS: TESTIGO DE HORMIGON D.100 MM		
CÓDIGO ACTA :	2009/12592	FECHA ACTA: 22/07/2009
S/REF-PROCEDENCIA: HMI-6		
LOCALIZACION:		
DATOS COMPLEMENTARIOS: ENSAYO SOBRE TRAMO CENTRAL TESTIGO		
ANÁLISIS QUÍMICO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN		
HORMIGONES, ANHÍDRIDO SULFÚRICO		
Fecha inicio ensayo	17/07/2009	
Fecha fin ensayo	21/07/2009	
ANHÍDRIDO SULFÚRICO	%	0,95
Datos Complementarios		
<p>LOS ENSAYOS SUBCONTRATADOS SE INDICAN CON **</p> <p>RESPONSABLE TÉCNICO</p> <p style="text-align: right;">Madrid, 22 de julio de 2009</p> <p style="text-align: right;">RESPONSABLE INORGÁNICA</p> <p style="text-align: right;">P.A. Isabel Pando</p> <p style="text-align: right;">Fdo.: M^a Isabel Pando González</p> <p style="text-align: right;">(Lda. Ciencias Químicas)</p>		
<p>Fdo.: Eva González Arcenillas</p> <p>(Lda. Ciencias Químicas)</p>		
<p style="text-align: center;"> <small>LABORATORIO ACREDITADO POR LA COMUNIDAD DE MADRID FECHA CONCESIÓN 07/03/05 N° REGISTRO DE LABORATORIO 63113EHF05 63114GTL05 63115GTC05 63116VZG05 63117EAF05 63118EAS05 63119APC05 63120AFH05 63121ACC05 63122ACH05 63123APC05 63124AFH05 Y 63125AH05</small> <small>Geotecnia y Cimientos, S.A. Los Llanos de Jerez, 10 y 12. - 28823 Coslada (Madrid) - Teléf. 91 660 30 00 - Fax 91 671 64 10</small> <small>Laboratorio Central de Geocisa en Coslada.</small> </p>		



Los resultados reflejados en este Acta solo afectan a la muestra ensayada. Prohíbe la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización escrita de GEOCISA



Este documento es propiedad de GEOCISA. Toda su reproducción o uso no autorizado sin la autorización escrita de GEOCISA.

GEOCISA

Hoja 3 de 3

ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS

PETICIONARIO: TECNOLOGIA Y SERVICIOS AGRARIOS, S.A (TRAGSATEC)		O.E.: 2761
DIRECCIÓN PETICIONARIO: C/JULIAN CAMARILLO, 6-B		
DIRECCIÓN OBRA: C/JULIAN CAMARILLO, 6-B; 28037, Madrid		
OBRA: CAMPAÑA ANALISIS ESTABILIDAD REHABILITACION CASTILLO SAN SEBASTIAN Y MALECON		
CÓDIGO MUESTRA:	2009/7645	
FECHA TOMA:	30/06/2009	FECHA REGISTRO: 07/07/2009
MODALIDAD DE MUESTREO: ML		
MATERIAL DE LA MUESTRA: TESTIGO DE HORMIGON		
DESCRIPCIÓN Y OTROS: TESTIGO DE HORMIGON D. 100 MM		
CÓDIGO ACTA :	2009/12616	FECHA ACTA: 22/07/2009
S/REF-PROCEDENCIA: HMI-6		
LOCALIZACION:		
DATOS COMPLEMENTARIOS: ENSAYO REALIZADO SOBRE FIN TESTIGO		

ANÁLISIS QUÍMICO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

HORMIGONES, CLORUROS - UNE EN 112010		
Fecha inicio ensayo		16/07/2009
Fecha fin ensayo		16/07/2009
CLORUROS	%	0,22
Datos Complementarios		

LOS ENSAYOS SUBCONTRATADOS SE INDICAN CON **

RESPONSABLE TÉCNICO

Fdo.: Eva González Arcenillas
(Lda. Ciencias Químicas)

Madrid, 22 de julio de 2009

RESPONSABLE INORGÁNICA

P.A. Isabel Rosal

Fdo.: M^a Isabel Pando González
(Lda. Ciencias Químicas)

RQ-M CONSTRUCCIÓN	LABORATORIO ACREDITADO POR LA COMUNIDAD DE MADRID FECHA CONCESIÓN 07/03/05 REGISTRO DE LABORATORIO ACREDITADO 03112EHA05 031140TL05 031159TC05 03116VSG05 03117EAF05 03118EAS05 03118FAC05 03118ACCG5 03122ACH05 03123MPC05 03124MPC05 Geotecnia y Cimientos, S.A. Los Llanos de Jerez, 10 y 12 - 28823 Coslada (Madrid) - Teléf. 91 660 30 00 - Fax 91 671 64 10
-------------------	--



GEOCISA

Hoja 2 de 5

INFORME: H-09/16339

ENCARGO: 2761/09

INFORME: H-09/16339

DENOMINACION: CAMPAÑA ANALISIS ESTABILIDAD REHABILITACION CASTILLO

PETICIONARIO:

Cliente: TECNOLOGÍA Y SERVICIOS AGRARIOS S.A.
TRAGSATEC

Dirección: C/JULIAN CAMARILLO,6-B
28037
MADRID

MUESTRAS RECIBIDAS:

Fecha de recepción en la División: 07/07/09

N/REF ^a	S/REF ^a
M-7632	TESTIGO HORMIGÓN. D.170 mm. HME-1
M-7633	TESTIGO HORMIGÓN. D.170 mm. HME-2
M-7634	TESTIGO HORMIGÓN. D.143 mm. HME-3
M-7635	TESTIGO HORMIGÓN. D.143 mm. HME-4
M-7636	TESTIGO HORMIGÓN. D.143 mm. HME-5
M-7637	TESTIGO HORMIGÓN. D.100 mm. HME-6
M-7638	TESTIGO HORMIGÓN. D.100 mm. HME-6 BIS
M-7639	TESTIGO HORMIGÓN. D.100 mm. HMI-1
M-7640	TESTIGO HORMIGÓN. D.100 mm. HMI-1 BIS
M-7641	TESTIGO HORMIGÓN. D.100 mm. HMI-2
M-7642	TESTIGO HORMIGÓN. D.100 mm. HMI-3
M-7643	TESTIGO HORMIGÓN. D.100 mm. HMI-4
M-7644	TESTIGO HORMIGÓN. D.100 mm. HMI-5
M-7645	TESTIGO HORMIGÓN. D.100 mm. HMI-6

ENSAYOS SOLICITADOS:

Determinación de la velocidad de propagación de impulsos ultrasónicos

Fecha de realización:





GEOCISA

INFORME: H-09/16339

VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DE IMPULSOS ULTRASÓNICOS UNE-EN 83308-93

MUESTRA	TIEMPO (μs)	ESPACIO (cm)	VELOCIDAD (m/s)
7632	64,2	29,1	4533
7633	69,4	26,3	3790
7634	75,8	28,4	3747
7635	63,2	25,6	4051
7636	54,6	21,0	3846
7637	43,5	18,4	4230
7640	47,3	19,6	4144
7641	50,5	19,6	3881
7642	51,5	19,6	3806
7643	52,8	19,6	3712
7644	51,5	19,7	3825
7645	24,6	11,7	4756

No se puede determinar la velocidad de propagación de impulsos ultrasónicos en las muestras 7638 y 7639.

Mod. C-9004-N Capital Social 3.000.000,00 € 1.º Inscrito. Registro Merc. Madrid, T. 2.358. G. 1.716. S. 3.º F. 136. H. 14.794 - C.I.F. A-28208874





MEDIDAS DE ULTRASONIDOS EN MUROS INTERIORES					
PLANTA	LECTURA	TIPO DE LECTURA	Tiempo (microseg)	Espesor (m)	Velocidad (m/s)
1	1	Directa	81,5	0,8	9.815,95
	3	Indirecta	108,60	0,20	1.841,62
	3		258,90	0,40	1.545,00
	3		385,90	0,60	1.554,81
	3		493,10	0,80	1.622,39
	3	Indirecta	635,00	1,00	1.574,80
	4		117,60	0,20	1.700,68
	4		243,80	0,40	1.640,69
	4		320,80	0,60	1.870,32
	4		663,20	0,80	1.206,27
	4	Indirecta	729,80	1,00	1.370,24
	5		143,20	0,20	1.396,65
	5		343,80	0,40	1.163,47
	5		-	0,60	-
	5		888,50	0,80	900,39
	5	Indirecta	-	1,00	-
	6		128,90	0,20	1.551,59
	6		370,90	0,40	1.078,46
	6		506,00	0,60	1.185,77
	6		675,20	0,80	1.184,83
	6	Indirecta	923,50	1,00	1.082,84
	7		101,50	0,20	1.970,44
	7		343,00	0,40	1.166,18
	7		547,00	0,60	1.096,89
	7		642,90	0,80	1.244,36
	7	Indirecta	885,20	1,00	1.129,69
2	5	Directa	219,50	0,60	2.733,49
	6	Directa	203,50	0,60	2.948,40
	7	Directa	163,40	0,60	3.671,97
3	1	Indirecta	126,50	0,20	1.581,03
	1		235,30	0,40	1.699,96
	1		332,20	0,60	1.806,14
	1		528,20	0,80	1.514,58
	1	Indirecta	612,00	1,00	1.633,99
	3		350,00	0,39	1.114,29
	4		114,60	0,37	3.228,62
	5		333,20	0,39	1.170,47
	7	Indirecta	112,30	0,39	3.472,84
	8		118,20	0,20	1.692,05
	8		126,80	0,40	3.154,57
	8		375,10	0,60	1.599,57
	8	Indirecta	477,00	0,80	1.677,15
	8		509,00	1,00	1.964,64
	13		84,70	0,30	3.541,91
	14		86,20	0,30	3.480,28
	15	Directa	70,30	0,30	4.267,43
	16		83,20	0,30	3.605,77
	17		73,00	0,30	4.109,59
	18		79,80	0,30	3.759,40

MEDIDAS DE ULTRASONIDOS EN MUROS EXTERIORES					
PLANTA	LECTURA	TIPO DE LECTURA	Tiempo (microseg)	Espesor (m)	Velocidad (m/s)
1	2	Directa	63,10	0,80	12.678,29
2	1	Directa	271,60	1,00	3.681,89
	2		221,90	1,00	4.506,53
	3		103,60	1,07	10.328,19
	4		98,90	0,86	8.695,65
3	8	Indirecta	417,90	1,00	2.392,92
	2		76,20	0,20	2.624,67
	2		220,40	0,40	1.814,88
	2		386,80	0,60	1.551,19
	2	Indirecta	474,60	0,80	1.685,63
	2		841,50	1,00	1.188,35
	6		132,80	0,80	6.024,10
	9		53,20	0,22	4.135,34
	10	Directa	60,40	0,85	14.072,85
	11		225,10	0,20	886,49
	11		343,20	0,40	1.165,50
	11		558,90	0,60	1.073,54
	11	Indirecta	725,20	0,80	1.103,14
	11		836,20	1,00	1.195,89
	12		86,40	0,20	2.314,81
	12		224,80	0,40	1.779,36
	12	Indirecta	544,90	0,60	1.101,12
	12		773,30	0,80	1.034,53
	12		814,30	1,00	1.228,05
	19		115,70	0,20	1.728,61
	19	Indirecta	216,60	0,40	1.846,72
	19		379,80	0,60	1.579,78
	19		462,00	0,80	1.731,60
	19		562,10	1,00	1.779,04
4	20	Indirecta	118,30	0,20	1.690,62
	20		300,90	0,40	1.329,35
	20		479,20	0,60	1.252,09
	20		567,40	0,80	1.409,94
	20	Indirecta	707,10	1,00	1.414,23
	1		95,60	0,40	4.184,10
	2		104,20	0,40	3.838,77
	3		96,80	0,40	4.132,23
	4	Directa	95,00	0,40	4.210,53
	5		92,80	0,40	4.310,34
	6		102,30	0,40	3.910,07
	7		101,20	0,40	3.952,57
	8	Indirecta	108,00	0,40	3.703,70

MEDIDAS DE ULTRASONIDOS EN PROBETAS DE HORMIGÓN			
MUESTRA	Tiempo (microseg)	Velocidad (m/s)	Resistencia (N/mm ²)
HME-1	64,20	4533,00	21,60
HME-2	69,40	3790,00	17,90
HME-3	75,80	3747,00	20,60
HME-4	63,20	4051,00	26,00
HME-5	54,60	3846,00	18,80
HME-6	43,50	4230,00	18,20
HMI-1BIS	47,30	4144,00	24,30
HMI-2	50,50	3881,00	27,90
HMI-3	51,50	3806,00	24,70
HMI-4	52,80	3712,00	18,60
HMI-5	51,50	3825,00	25,90
HMI-6	24,60	4756,00	24,80



GEOCISA		ENSAYOS BARRAS LISAS	
		Informe: M-09/ 05793	Hoja 2 de 5
OBRA : REHABILITACIÓN DEL CASTILLO DE SAN SEBASTIÁN Y EL MALECÓN			
CLIENTE:	TRAGSATEC		
ASUNTO:	CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS		
S/REFERENCIA:	F-1 y F-2		
ENCARGO Nº.	2761/09		
NORMAS: UNE- EN 10002			
CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS Y PONDERALES			
IDENTIFICADA	F-1	F-1	F-1
NÚMERO DE MUESTRA	7664-1	7664-2	7664-3
MASA (gr)	543	385	259
LONGITUD (mm)	1180	554	583
SECCIÓN EQUIVALENTE (mm ²)	58,62	88,53	56,59
DIÁMETRO EQUIVALENTE (mm)	8,64	10,62	8,49
TIPO DE BARRA	LISO	LISO	LISO
OBSERVACIONES: LAS BARRAS PRESENTABAN IMPORTANTE DETERIORO POR CORROSIÓN.			
LAS BARRAS PRESENTABAN RESTOS DE OXIDO ADHERIDO..			
ENSAYOS DE TRACCIÓN SEGÚN NORMA UNE EN 10002			
NÚMERO DE MUESTRA	7664-1	7664-2	7664-3
DIÁMETRO EQUIVALENTE (mm)	8,64	10,62	8,49
SECCIÓN EQUIVALENTE (mm ²)	58,62	88,53	56,59
CARGA DE ROTURA (KN)	17,72	26,86	15,96
CARGA LÍMITE ELÁSTICO AL 0,2% (KN)	14,52	21,94	13,55
TENSIÓN DE ROTURA (N/mm ²) (MPa)	302	303	282
LÍMITE ELÁSTICO AL 0,2% (N/mm ²) (MPa)	248	248	239
ALARGAMIENTO EN ROTURA %	31,3	25,2	20,2
ZONA DE ROTURA	D.T.C.	D.T.C.	D.T.C.
D.T.C. = ROTURA DENTRO DEL TERCIO CENTRAL			
F.T.C. = ROTURA FUERA DEL TERCIO CENTRAL			
R.P.M. = ROTURA POR MORDAZAS.			
NOTA:	ENSAYOS REALIZADOS A TEMPERATURA AMBIENTE.		
	1 N/mm ² = 1 MPa.		
	CALCULOS REALIZADOS CON LA SECCIÓN EQUIVALENTE.		
FECHA DE ENSAYO: 09-07-09			



GEOCISA		ENSAYOS BARRAS LISAS	
Informe: M-09/ 05793		Hoja 3 de 5	
OBRA : REHABILITACIÓN DEL CASTILLO DE SAN SEBASTIÁN Y EL MALECÓN			
CLIENTE:	TRAGSATEC		
ASUNTO:	CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS		
S/REFERENCIA:	F-1 y F-2		
ENCARGO N°.	2761/09		
NORMAS: UNE- EN 10002			
CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS Y PONDERALES			
IDENTIFICADA	F-1	F-1	F-1
NÚMERO DE MUESTRA	7664-4	7664-5	7664-6
MASA (gr)	296	465	408
LONGITUD (mm)	558	1062	840
SECCIÓN EQUIVALENTE (mm²)	67,58	55,78	61,87
DIÁMETRO EQUIVALENTE (mm)	9,28	8,43	8,88
TIPO DE BARRA	LISO	LISO	LISO
OBSERVACIONES: LAS BARRAS PRESENTABAN IMPORTANTE DETERIORO POR CORROSIÓN. LAS BARRAS PRESENTABAN RESTOS DE OXIDO ADHERIDO..			
ENSAYOS DE TRACCIÓN SEGÚN NORMA UNE EN 10002			
NÚMERO DE MUESTRA	7664-4	7664-5	7664-6
DIÁMETRO EQUIVALENTE (mm)	9,28	8,43	8,88
SECCIÓN EQUIVALENTE (mm²)	67,58	55,78	61,87
CARGA DE ROTURA (KN)	21,85	19,99	14,94
CARGA LÍMITE ELÁSTICO AL 0,2% (KN)	16,98	17,49	12,71
TENSIÓN DE ROTURA (N/mm²) (MPa)	323	358	241
LÍMITE ELÁSTICO AL 0,2% (N/mm²) (MPa)	251	314	205
ALARGAMIENTO EN ROTURA %	25,6	27,1	18,0
ZONA DE ROTURA	R.P.M.	R.P.M.	D.T.C.
D.T.C. = ROTURA DENTRO DEL TERCIO CENTRAL F.T.C. = ROTURA FUERA DEL TERCIO CENTRAL R.P.M. = ROTURA POR MORDAZAS.			
NOTA:	ENSAYOS REALIZADOS A TEMPERATURA AMBIENTE. 1 N/mm² = 1 MPa. CALCULOS REALIZADOS CON LA SECCIÓN EQUIVALENTE.		
FECHA DE ENSAYO: 09-07-09			

Mod. G-9004-N Capital Social 0.000.000,00 € - I.º Inscrición. Registro Merc. Madrid, T. 2.353, G. 1.716, S. 3.º, F. 106, H. 14.794 - C.I.F. A-26208374



GEOCISA		ENSAYOS BARRAS LISAS	
		Informe: M-09/ 05793	Hoja 4 de 5
OBRA : REHABILITACIÓN DEL CASTILLO DE SAN SEBASTIÁN Y EL MALECÓN			
CLIENTE:	TRAGSATEC		
ASUNTO:	CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS		
S/REFERENCIA:	F-1 y F-2		
ENCARGO Nº.	2761/09		
NORMAS: UNE- EN 10002			
CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS Y PONDERALES			
IDENTIFICADA	F-2	F-2	
NÚMERO DE MUESTRA	7665-1	7665-2	
MASA (gr)	1463	877	
LONGITUD (mm)	1048	717	
SECCIÓN EQUIVALENTE (mm ²)	177,83	155,81	
DIÁMETRO EQUIVALENTE (mm)	15,05	14,09	
TIPO DE BARRA	LISO	LISO	
OBSERVACIONES: LAS BARRAS PRESENTABAN IMPORTANTE DETERIORO POR CORROSIÓN.			
LAS BARRAS PRESENTABAN RESTOS DE OXIDO ADHERIDO..			
ENSAYOS DE TRACCIÓN SEGÚN NORMA UNE EN 10002			
NÚMERO DE MUESTRA	7665-1	7665-2	
DIÁMETRO EQUIVALENTE (mm)	15,05	14,09	
SECCIÓN EQUIVALENTE (mm ²)	177,83	155,81	
CARGA DE ROTURA (KN)	66,29	52,00	
CARGA LÍMITE ELÁSTICO AL 0,2% (KN)	45,04	37,81	
TENSIÓN DE ROTURA (N/mm ²) (MPa)	373	334	
LÍMITE ELÁSTICO AL 0,2% (N/mm ²) (MPa)	253	243	
ALARGAMIENTO EN ROTURA %	25,8	23,1	
ZONA DE ROTURA	R.P.M.	D.T.C.	
D.T.C. = ROTURA DENTRO DEL TERCIO CENTRAL			
F.T.C. = ROTURA FUERA DEL TERCIO CENTRAL			
R.P.M. = ROTURA POR MORDAZAS.			
NOTA:	ENSAYOS REALIZADOS A TEMPERATURA AMBIENTE.		
	1 N/mm ² = 1 MPa.		
	CALCULOS REALIZADOS CON LA SECCIÓN EQUIVALENTE.		
FECHA DE ENSAYO: 09-07-09			



GEOCISA

ENSAYOS DE BARRAS LISAS

Informe: M-09/ 05793

HOJA 5 de 5

CLIENTE: TRAGSATEC
ASUNTO: CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS
S/REFERENCIA: F-1 y F-2

ENCARGO N°. 2761/09

El presente informe consta de cinco páginas numeradas
de la 1 a la 5, correlativamente y selladas.

MADRID, 16 de julio de 2009

DIRECTOR DE LABORATORIO

JEFE DE ÁREA EHA..

SILVIA DÍAZ ALCOLEA

MARCOS PEREZ CRESPO



GEOTECNIA Y CIMIENTOS, S.A. (GEOCISA)
Calle Los Llanos de Jerez nº 10 y 12 – 28820 Coslada (Madrid)

Áreas de Acreditación:

- EHA:** Área control hormigón y sus componentes, y armaduras de acero; ensayos básicos y complem. 1, 2, 4, y 5.
GTL: Área ensayos laboratorio de geotecnia; ensayos básicos y complementarios 1, 2 y 3.
GTC: Área de sondeos, toma de muestras y ensayos "in situ" para reconocimientos geotécnicos.
VSG: Área suelos, áridos, mezclas bituminosas y sus materiales constituyentes en viales, ensayos básicos y complementarios 1 y 2.
EAP: Área de control de perfiles de acero para estructuras, ensayos básicos y complementarios.
EAS: Área de control de la soldadura de perfiles estructurales de acero, ensayos básicos.
AM: Área de albañilería:
AFC: Área de control de los materiales de fábricas de piezas cerámicas.
AFH: Área de control de los materiales de fábrica de piezas de hormigón.
ACC: Área de materiales de albañilería. Control de materiales de cubiertas de piezas cerámicas.
ACH: Área de control de los materiales de cubiertas de piezas de hormigón.
APC: Área de control de los materiales de pavimentos de piezas cerámicas.
APH: Área de control de los materiales de pavimentos de piezas de hormigón.
AMC: Área de control de morteros de albañilería.

Acreditado por la Comunidad de Madrid. Fecha concesión 07/03/05. Nº Registro General de Laboratorio
Acreditado: 03113EHA05, 03114GTL05, 03115GTC05, 03116VSG05, 03117EAP05, 03118EAS05,
03119AFC05, 03120AFH05, 03121ACC05, 03122ACH05, 03123APC05, 03124APH05 Y 03125AMC05.

Los resultados solo afectan a las muestras sometidas al ensayo.
Prohibida la reproducción parcial de este documento sin la aprobación expresa de GEOCISA



**ANEJO 3: RESULTADOS ENSAYOS CASO II. VILLA EL CASTILLITO.**

Expediente: 1404.21-00 Fecha: 26.05.2014 Página: 1 de 1
 Cliente: TRASSATEC Muestra: 1
 Proyecto: ESTUDIO ESTRUCTURAL VILLA "EL CASTILLITO" Hormigón Bóveda
 Localización: Sanlúcar de Barrameda (Cádiz) Modelo: FS.10.1

ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYO

ENSAYOS DE HORMIGÓN EN ESTRUCTURAS. TESTIGOS. EXTRACCIÓN, EXAMEN Y RESISTENCIA A COMPRESIÓN - NORMA UNE EN 12504-1:2009

ENSAYO DE COMPRESIÓN - MUESTRA 1 - Testigo 14 - Bóveda sobre forjado planta baja

Ajuste de las caras	Refrentado
Identificación del testigo	Hormigón bóveda
Fecha de extracción	28.04.2014
Fecha de ensayo	26.05.2014
Edad de ensayo	28 días
Longitud promedio del testigo	97 mm.
Diámetro promedio del testigo	72 mm.
Relación longitud/diámetro	1:1,35
Carga máxima de rotura	123,68 kN
Resistencia a compresión	30,37 N/mm ²

OBSERVACIONES

No hay desviaciones de la ejecución de la extracción, examen y ensayo a compresión con respecto al método normalizado

El técnico responsable de la ejecución del informe declara que los ensayos realizados se han ejecutado conforme a la norma UNE EN 12504-1:2009

Se debe de tener en cuenta que la relaciones de longitud/diámetro no son regulares y por lo tanto la carga de rotura puede resultar elevada aunque pueden tomarse estos valores como correctos y ensayados según la norma UNE EN 12504-1:2009



Directora de Laboratorio

 Ana M. Cortés Salvago
 Geóloga

Resp. Ensayos Físicos

 Miguel Ángel Cortés Salvago
 Ingeniero Técnico Industrial

Resp. Ensayos Químicos

 Ana M. Cortés Salvago
 Geóloga



Expediente: 1404.21-00 Fecha: 26.05.2014 Página: 1 de 1
 Cliente: TRAGSATEC Muestra: 2
 Proyecto: ESTUDIO ESTRUCTURAL VILLA "EL Hormigón
 CASTILLITO" Forjado P. Baja
 Localización: Sanlúcar de Barrameda (Cádiz) Modelo: FS.10.1

ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYO

ENSAYOS DE HORMIGÓN EN ESTRUCTURAS. TESTIGOS. EXTRACCIÓN, EXAMEN Y RESISTENCIA A COMPRESIÓN -
 NORMA UNE EN 12504-1:2009

ENSAYO DE COMPRESIÓN - MUESTRA 2 - Testigo 17 - Forjado planta baja

Ajuste de las caras	Refrentado
Identificación del testigo	Hormigón forjado planta baja
Fecha de extracción	28.04.2014
Fecha de ensayo	26.05.2014
Edad de ensayo	28 días
Longitud promedio del testigo	73 mm.
Diámetro promedio del testigo	73 mm.
Relación longitud/diámetro	1:1
Carga máxima de rotura	98,9 kN
Resistencia a compresión	24,29 N/mm ²

OBSERVACIONES

No hay desviaciones de la ejecución de la extracción, examen y ensayo a compresión con respecto al método normalizado

El técnico responsable de la ejecución del informe declara que los ensayos realizados se han ejecutado conforme a la norma UNE EN 12504-1:2009

Se debe de tener en cuenta que la relaciones de longitud/diámetro no son regulares y por lo tanto la carga de rotura puede resultar elevada aunque pueden tomarse estos valores como correctos y ensayados según la norma UNE EN 12504-1:2009



Directora de Laboratorio

 songea
 Laboratorio de construcción y obra civil
 Ana M. Cortés Salvago
 Geóloga

Resp. Ensayos Físicos

 songea
 Laboratorio de construcción y obra civil
 Miguel Ángel Cortés Salvago
 Ingeniero Técnico Industrial

Resp. Ensayos Químicos

 songea
 Laboratorio de construcción y obra civil
 Ana M. Cortés Salvago
 Geóloga



Expediente: 1484.21-00 Fecha: 26.05.2014 Página: 1 de 1
 Cliente: TRASSATEC Muestra: 3
 Proyecto: ESTUDIO ESTRUCTURAL VILLA "EL CASTILLITO" Hormigón
 Localización: Sanlúcar de Barrameda (Cádiz) Forjado P. Baja
 Modelo: F5.10.1

ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYO

ENSAYOS DE HORMIGÓN EN ESTRUCTURAS. TESTIGOS. EXTRACCIÓN, EXAMEN Y RESISTENCIA A COMPRESIÓN - NORMA UNE EN 12504-1:2009

ENSAYO DE COMPRESIÓN - MUESTRA 3 - Testigo 16 - Forjado planta baja

Ajuste de las caras	Refrentado
Identificación del testigo	Hormigón forjado planta baja
Fecha de extracción	28.04.2014
Fecha de ensayo	26.05.2014
Edad de ensayo	28 días
Longitud promedio del testigo	120 mm.
Diámetro promedio del testigo	73 mm.
Relación longitud/diámetro	1:1,65
Carga máxima de rotura	87,33 kN
Resistencia a compresión	21,45 N/mm ²

OBSERVACIONES

No hay desviaciones de la ejecución de la extracción, examen y ensayo a compresión con respecto al método normalizado

El técnico responsable de la ejecución del informe declara que los ensayos realizados se han ejecutado conforme a la norma UNE EN 12504-1:2009

Se debe de tener en cuenta que la relaciones de longitud/diámetro no son regulares y por lo tanto la carga de rotura puede resultar elevada aunque pueden tomarse estos valores como correctos y ensayados según la norma UNE EN 12504-1:2009



Directora de Laboratorio

 Laboratorio de construcción y obra civil
 Ana M. Cortés Salvago
 Geóloga

Resp. Ensayos Físicos

 Laboratorio de construcción y obra civil
 Miguel Ángel Cortés Salvago
 Ingeniero Técnico Industrial

Resp. Ensayos Químicos

 Laboratorio de construcción y obra civil
 Ana M. Cortés Salvago
 Geóloga



Expediente: 1404.21-00 Fecha: 26.05.2014 Página: 1 de 1
 Cliente: TRAGSATEC Muestra: 4
 Proyecto: ESTUDIO ESTRUCTURAL VILLA "EL CASTILLITO" Muro Biocalcareníta
 Localización: Sanlúcar de Barrameda (Cádiz) Modelo: F5.10.1

ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYO

ENSAYOS DE HORMIGÓN EN ESTRUCTURAS. TESTIGOS. EXTRACCIÓN, EXAMEN Y RESISTENCIA A COMPRESIÓN - NORMA UNE EN 12504-1:2009

ENSAYO DE COMPRESIÓN - MUESTRA 4 - Testigo 18 - Forjado planta baja

Ajuste de las caras	Refrentado
Identificación del testigo	Ladrillo, biocalcar. y arenisca
Fecha de extracción	28.04.2014
Fecha de ensayo	26.05.2014
Edad de ensayo	28 días
Longitud promedio del testigo	135 mm.
Diámetro promedio del testigo	72 mm.
Relación longitud/diámetro	1:1,90
Carga máxima de rotura	65,54 kN
Resistencia a compresión	16,10 N/mm ²

OBSERVACIONES

No hay desviaciones de la ejecución de la extracción, examen y ensayo a compresión con respecto al método normalizado

El técnico responsable de la ejecución del informe declara que los ensayos realizados se han ejecutado conforme a la norma UNE EN 12504-1:2009

Se debe de tener en cuenta que la relaciones de longitud/diámetro no son regulares y por lo tanto la carga de rotura puede resultar elevada aunque pueden tomarse estos valores como correctos y ensayados según la norma UNE EN 12504-1:2009



Directora de Laboratorio

songea
 Laboratorio de construcción y obra civil
 Ana M. Cortés Salvago
 Geóloga

Resp. Ensayos Físicos

songea
 Laboratorio de construcción y obra civil
 Miguel Ángel Cortés Salvago
 Ingeniero Técnico Industrial

Resp. Ensayos Químicos

songea
 Laboratorio de construcción y obra civil
 Ana M. Cortés Salvago
 Geóloga



Expediente: 1484.21-08 Fecha: 26.05.2014 Página: 1 de 1
 Cliente: TRASSATEC Muestra: 5
 Proyecto: ESTUDIO ESTRUCTURAL VILLA "EL CASTILLITO" Acero
 diámetro 6 mm.
 Localización: Sanlúcar de Barrameda (Cádiz) Modelo: F5.10.2

ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYO

ENSAYOS DE TRACCIÓN, TENSIÓN MÁXIMA Y LÍMITE ELÁSTICO DE UNA BARRA DE ACERO
 NORMA UNE EN ISO 15630-2:2003

ENSAYO DE TRACCIÓN - Muestra de acero de la estructura

Fuerza máxima	9,44 kN
Tensión máxima	331,1 N/mm ²
Agotamiento	4,5 %
Fuerza límite	7,66 N
Límite elástico	271,1 N/mm ²
F _s /F _y	1,232
Diámetro	6 mm.
Tipo de acero	sin determinar

OBSERVACIONES

No hay desviaciones de la ejecución de la extracción, examen y ensayo a compresión con respecto al método normalizado

El técnico responsable de la ejecución del informe declara que los ensayos realizados se han ejecutado conforme a la norma UNE EN ISO 15630-2:2003

El acero de la muestra presenta un elevado proceso de corrosión afectando al diámetro nominal a lo largo de la sección de la muestra, con unas variaciones de +/- 1,5 mm. Así mismo, no ha sido posible detectar las corrugas del acero. Por tanto, el resultado del ensayo debe tomarse con la debida cautela, ya que dichos valores pueden fluctuar dependiendo de la zona donde se pretenda tomar el valor para un cálculo estructural.



Directora de Laboratorio

songea
 Laboratorio de
 construcción y obra civil
 Ana M. Cortés Salvago
 Geóloga

Resp. Ensayos Físicos

songea
 Laboratorio de
 construcción y obra civil
 Miguel Ángel Cortés Salvago
 Ingeniero Técnico Industrial

Resp. Ensayos Químicos

songea
 Laboratorio de
 construcción y obra civil
 Ana M. Cortés Salvago
 Geóloga



Expediente: 1404.21-00 Fecha: 26.05.2014 Página: 1 de 1
 Cliente: TRASSATEC Muestra: 1
 Proyecto: ESTUDIO ESTRUCTURAL VILLA "EL CASTILLITO" Hormigón
 Localización: Sanlúcar de Barrameda (Cádiz) Modelo: F5.10.1

ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYO

DETERMINACIÓN DE CLORUROS EN HORMIGONES ENDURECIDOS Y PUESTOS EN SERVICIO
 UNE 112010:2011

DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA

La muestra de hormigón, previamente preparada, se ataca con ácido nítrico diluido en ebullición. Los cloruros disueltos se precipitan añadiendo una cantidad conocida de una disolución patrón de nitrato de plata. Después de la ebullición, el precipitado se lava con ácido nítrico diluido y se desecha. El filtrado y las aguas de lavado se enfrían por debajo de 25 °C y el nitrato de plata en exceso se valora con una disolución patrón de tiocianato de amonio en presencia de una sal de hierro (III) utilizada como indicador.

Fecha de toma de muestra	28.04.2014
Fecha de ensayo	23.05.2014
Técnico del ensayo	Ana María Cortés Salvago
Condiciones atmosféricas	20 °C
Identificación de la muestra	Muestra 1 - Testigo 14 - Bóveda hormigón
Tipo de probeta	Cilíndrica
Diámetro	72 mm.
Altura	98 mm.
CONTENIDO EN CLORUROS	0,014 % en Peso

Directora de Laboratorio

 songea
 Laboratorio de construcción y obra civil
 Ana M. Cortés Salvago
 Geóloga

Resp. Ensayos Físicos

 songea
 Laboratorio de construcción y obra civil
 Miguel Ángel Cortés Salvago
 Ingeniero Técnico Industrial

Resp. Ensayos Químicos

 songea
 Laboratorio de construcción y obra civil
 Ana M. Cortés Salvago
 Geóloga



Expediente: 1484.21-00 Fecha: 26.05.2014 Página: 1 de 1
 Cliente: TRIASSATEC Muestra: 1
 Proyecto: ESTUDIO ESTRUCTURAL VILLA "EL CASTILLITO" Hormigón
 Localización: Sanlúcar de Barrameda (Cádiz) Modelo: F5.10.1

ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYO

DETERMINACIÓN DE LA PROFUNDIDAD DE CARBONATACIÓN EN UN HORMIGÓN ENDURECIDO POR EL MÉTODO DE LA FENOLFTALEINA

EN 14630:2007

DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA

Con el fin de establecer si la profundidad de hormigón no carbonatado es suficiente para proteger la armadura durante la duración de vida teórica restante de la estructura, se determina la profundidad total de la envoltura y la profundidad de carbonatación. Se debe de tener en cuenta que este método de ensayo realizado no es conveniente para el hormigón fabricado con cemento cálcico aluminoso.

Fecha de toma de muestra	28.04.2014
Fecha de ensayo	23.05.2014
Técnico del ensayo	Ana María Cortés Salvago
Condiciones atmosféricas	20 °C
Identificación de la muestra	Muestra 3 - Testigo 16 - Forjado planta baja
Tipo de probeta	Cilíndrica
Diámetro	70 mm.
Altura	110 mm.
Composición de la disolución	Fenolftaleína: 1g. + Alcohol etílico: 70 ml. + Agua destilada: 100 ml.

MEDIDA DE LA PROFUNDIDAD DE CARBONATACIÓN
Máximo de penetración
20 mm.
Mínimo de penetración
10 mm.
Medida de penetración
15 mm.



Directora de Laboratorio

 Laboratorio de construcción y obra civil
 Ana M. Cortés Salvago
 Geóloga

Resp. Ensayos Físicos

 Laboratorio de construcción y obra civil
 Miguel Ángel Cortés Salvago
 Ingeniero Técnico Industrial

Resp. Ensayos Químicos

 Laboratorio de construcción y obra civil
 Ana M. Cortés Salvago
 Geóloga

**ANEJO 4: RESULTADOS ENSAYOS CASO III. CANAL CALZAS ANCHAS.**

Nº MUESTRA: 1-018-2911/24

Nº ACTA-2014/38649

ACTA DE RESULTADO DE ENSAYOS

PETICIONARIO: 140485: UTE CONS.ASF.Y CONTRL S.A.-ACSA E INF.S.A., Av. San Francisco Javier nº 22. Esc. 327. Pta. 32B, 41018-Sevilla, Sevilla

ALBARÁN Nº:

CONTRATISTA:

OBRA: 40052341: CANAL DE UTRERA (SEVILLA)

FECHA DE TOMA: 07/05/2014 DESCRIPCIÓN MATERIAL: HORMIGÓN

HORA DE TOMA: --- TEMPERATURA (°C): CUMA:

LOCALIZACIÓN: HORMIGÓN BASE MUÑO

PETICIÓN Nº:

LOTE:

SU REF/PROCEDENCIA: M-1

DATOS COMPLEMENTARIOS:

MATERIAL: HORMIGÓN

CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN

**Determinación de nitritos
método colorimétrico según I.T.**

Parámetro	Resultado
NO ₂ (%)	

**Determinación de sulfatos
UNE-EN 1744-1**

Parámetro	Resultado
SO ₄ (%)	2,37

**Determinación oxina
método M.H. Robert**

Parámetro	Resultado
Al ₂ O ₃ (%)	

**Determinación de la densidad del hormigón
endurecido UNE-EN 12350-7**

Parámetro	Resultado
Densidad (g/cm ³)	2,06
Porosidad (%)	21,32
Absorción, abs (%)	10,37

Determinación de SiO₂ UNE-EN 196-2

Parámetro	Resultado
SiO ₂ (%)	

**Determinación de cloruros
UNE 112010**

Parámetro	Resultado
Cl ⁻ (%)	0,274

**Determinación de la profundidad carbonatación
método de la fenolftaleína según I.T.**

Parámetro	Resultado
gmo carbonatado o C ₂	
Profundidad C ₂ , mm	

Determinación pH UNE 77305

Parámetro	Resultado
pH	10,45

**Determinación de nitratos método
test Dr. Lange**

Parámetro	Resultado
NO ₃ (%)	

Determinación de CaO UNE-EN 196-2

Parámetro	Resultado
CaO (%)	

Determinación de MgO UNE-EN 196-2

Parámetro	Resultado
MgO (%)	



Nº MUESTRA: I-DLB-3009/14

Nº ACTA-2014/38664

ACTA DE RESULTADO DE ENSAYOS

PETICIONARIO: 140485: UTE CONS.ASF.Y CONTRL S.A.-ACSA E INF.S.A., Av. San Francisco Javier nº 22. Esc. 327. Pta. 328, 43018-Sevilla, Sevilla

ALBARÁN Nº:

CONTRATISTA:

OBRA: 40052341: CANAL DE UTRERA (SEVILLA)

FECHA DE TOMA: 17/03/2014 DESCRIPCIÓN MATERIAL: HORMIGÓN

HORA DE TOMA: --- TEMPERATURA (ºC): CUMA:

PETICIÓN Nº:

LOCALIZACIÓN:

LOTE:

SU REF/PROCEDENCIA: M-2

DATOS COMPLEMENTARIOS:

MATERIAL: HORMIGÓN

CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN

Determinación de nitritos
método colorimétrico según I.T.

Parámetro	Resultado
NO ₂ (%)	0,0060

Determinación de cloruros
UNE 112010

Parámetro	Resultado
Cl ⁻ (%)	0,970

Determinación de sulfatos
UNE-EN 1744-1

Parámetro	Resultado
SO ₄ (%)	1,73

Determinación de la profundidad carbonatada
método de la fenolftaleína según I.T.

Parámetro	Resultado
¿No carbonatado o C.?	
Profundidad C., mm	

Determinación oxíma
método M.H. Robert

Parámetro	Resultado
Al ₂ O ₃ (%)	

Determinación pH UNE 77305

Parámetro	Resultado
pH	9,81

Determinación de la densidad del hormigón
endurecido UNE-EN 12350-7

Parámetro	Resultado
Densidad (g/cm ³)	2,27
Porosidad (%)	4,68
Absorción, abs (%)	2,06

Determinación de nitratos método
test Dr. Lange

Parámetro	Resultado
NO ₃ (%)	0,03400

Determinación de CaO UNE-EN 196-2

Parámetro	Resultado
CaO (%)	

Determinación de SiO₂ UNE-EN 196-2

Parámetro	Resultado
SiO ₂ (%)	

Determinación de MgO UNE-EN 196-2

Parámetro	Resultado
MgO (%)	



Nº MUESTRA: I-DLB-2911/14

Nº ACTA-2014/38649

ACTA DE RESULTADO DE ENSAYOS

PETICIONARIO: 140485: UTE CONS.ASF.Y CONTRL S.A.-ACSA E INF.S.A., Av. San Francisco Javier nº 22. Esc. 327. Pta. 328, 43018-Sevilla, Sevilla

ALBARÁN Nº:

CONTRATISTA:

OBRA: 40052341: CANAL DE UTRERA (SEVILLA)

FECHA DE TOMA: 07/03/2014 DESCRIPCIÓN MATERIAL: HORMIGÓN

HORA DE TOMA: --- TEMPERATURA (ºC): CUMA:

PETICIÓN Nº:

LOCALIZACIÓN: HORMIGÓN BASE MURO

LOTE:

SU REF/PROCEDENCIA: M-1

DATOS COMPLEMENTARIOS:

MATERIAL: HORMIGÓN

CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN

Determinación de la pérdida por
calcificación UNE-EN 196-2

Parámetro	Resultado
PC (%)	

Determinación del amonio método
colorimétrico

Parámetro	Resultado
NH ₄ (%)	

Determinación de los óxidos de hierro y aluminio
UNE-EN 196-2

Parámetro	Resultado
Al ₂ O ₃ (%)	
Fe ₂ O ₃	



Nº MUESTRA: I-DLB-3070/14

Nº ACTA-2014/38662

ACTA DE RESULTADO DE ENSAYOS

PETICIONARIO: 140485- UTE CONS.ASF.Y CONTRL S.A.-ACSA E INF.S.A., Av. San Francisco Javier nº 22. Esc. 327. Pta. S2B, 41018-Sevilla, Sevilla

ALBARÁN Nº:

CONTRATISTA:

OBRA: 40052341- CANAL DE UTRERA (SEVILLA)

FECHA DE TOMA: 17/03/2014 DESCRIPCIÓN MATERIAL: HORMIGÓN

HORA DE TOMA: — TEMPERATURA (ºC): CUMA:

LOCALIZACIÓN:

PETICIÓN Nº:

LOTE:

SU REF/PROCEDENCIA: M-3

DATOS COMPLEMENTARIOS:

MATERIAL: HORMIGÓN

CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN

Determinación de nitratos
método colorimétrico según I.T.

Parámetro	Resultado
NO ₃ (%)	0,0010

Determinación de cloruros
UNE 112010

Parámetro	Resultado
Cl ⁻ (%)	0,646

Determinación de sulfatos
UNE-EN 1744-1

Parámetro	Resultado
SO ₄ (%)	1,00

Determinación de la profundidad carbonatada
método de la fenolftaleína según I.T.

Parámetro	Resultado
(No carbonatado o C ₂)	
Profundidad C ₂ , mm	

Determinación oxina
método M.H. Robert

Parámetro	Resultado
Al ₂ O ₃ (%)	

Determinación pH UNE 77305

Parámetro	Resultado
pH	11,46

Determinación de la densidad del hormigón
endurecido UNE-EN 12350-7

Parámetro	Resultado
Densidad (g/cm ³)	2,40
Porosidad (%)	4,20
Absorción, abs (%)	1,75

Determinación de nitratos método
test Dr. Lange

Parámetro	Resultado
NO ₃ (%)	0,00200

Determinación de CaO UNE-EN 196-2

Parámetro	Resultado
CaO (%)	

Determinación de SiO₂ UNE-EN 196-2

Parámetro	Resultado
SiO ₂ (%)	

Determinación de MgO UNE-EN 196-2

Parámetro	Resultado
MgO (%)	



Nº MUESTRA: I-DLB-3070/14

Nº ACTA-2014/38662

ACTA DE RESULTADO DE ENSAYOS

PETICIONARIO: 140485- UTE CONS.ASF.Y CONTRL S.A.-ACSA E INF.S.A., Av. San Francisco Javier nº 22. Esc. 327. Pta. S2B, 41018-Sevilla, Sevilla

ALBARÁN Nº:

CONTRATISTA:

OBRA: 40052341- CANAL DE UTRERA (SEVILLA)

FECHA DE TOMA: 17/03/2014 DESCRIPCIÓN MATERIAL: HORMIGÓN

HORA DE TOMA: — TEMPERATURA (ºC): CUMA:

LOCALIZACIÓN:

PETICIÓN Nº:

LOTE:

SU REF/PROCEDENCIA: M-3

DATOS COMPLEMENTARIOS:

MATERIAL: HORMIGÓN

CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN

Determinación de la pérdida por
calcificación UNE-EN 196-2

Parámetro	Resultado
PC (%)	

Determinación del amonio método
colorimétrico

Parámetro	Resultado
NH ₄ (%)	0,0000

Determinación de los óxidos de hierro y aluminio
UNE-EN 196-2

Parámetro	Resultado
Al ₂ O ₃ (%)	
Fe ₂ O ₃	



Nº MUESTRA: I-OLB-3073/04

Nº ACTA-2014/38663

ACTA DE RESULTADO DE ENSAYOS

PETICIONARIO: 140485- UTE CONS.ASF.Y CONTRL S.A.-ACSA E INF.S.A., Av. San Francisco Javier nº 22, Esc. 327. Pta. 328, 41018-Sevilla

ALBARÁN Nº:

CONTRATISTA:

OBRA: 40052341- CANAL DE UTRERA (SEVILLA)

FECHA DE TOMA: 17/03/2014 DESCRIPCIÓN MATERIAL: HORMIGÓN

HORA DE TOMA: --- TEMPERATURA (ºC): CUMA:

LOCALIZACIÓN:

PETICIÓN Nº:

LOTE:

SU REF/PROCEDENCIA: M-4

DATOS COMPLEMENTARIOS:

MATERIAL: HORMIGÓN

CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN

Determinación de nitritos método colorimétrico según I.T.

Parámetro	Resultado
NO ₂ (%)	0,00940

Determinación de sulfatos UNE-EN 1744-1

Parámetro	Resultado
SO ₄ (%)	1,92

Determinación oxina método M.H. Robert

Parámetro	Resultado
Al ₂ O ₃ (%)	

Determinación de la densidad del hormigón endurecido UNE-EN 12350-7

Parámetro	Resultado
Densidad (g/cm ³)	2,40
Porosidad (%)	5,22
Absorción, abs (%)	2,18

Determinación de SiO₂ UNE-EN 196-2

Parámetro	Resultado
SiO ₂ (%)	

Determinación de cloruros UNE 112010

Parámetro	Resultado
Cl ⁻ (%)	0,232

Determinación de la profundidad carbonatada método de la fenolftaleína según I.T.

Parámetro	Resultado
¿No carbonatado o C.?	
Profundidad C., mm	

Determinación pH UNE 77305

Parámetro	Resultado
pH	10,45

Determinación de nitratos método test Dr. Lange

Parámetro	Resultado
NO ₃ (%)	0,02600

Determinación de CaO UNE-EN 196-2

Parámetro	Resultado
CaO (%)	

Determinación de MgO UNE-EN 196-2

Parámetro	Resultado
MgO (%)	



LA UNIVERSIDAD DE SEVILLA



Nº MUESTRA: I-OLB-3071/14

Nº ACTA-2014/38663

ACTA DE RESULTADO DE ENSAYOS

PETICIONARIO: 140485- UTE CONS.ASF.Y CONTRL S.A.-ACSA E INIF S.A., Av. San Francisco Javier nº 22. Etc.
327. Pta. 328, 41018-Sevilla, Sevilla

ALBARÁN Nº:

CONTRATISTA:

OBRA: 40052541- CANAL DE UTRERA (SEVILLA)

FECHA DE TOMA: 17/03/2014 DESCRIPCIÓN MATERIAL: HORMIGON

HORA DE TOMA: --- TEMPERATURA (ºC): CLIMA:

LOCALIZACIÓN: PETICIÓN Nº:

LOTE: SU REF/PROCEDENCIA: M-4

DATOS COMPLEMENTARIOS:

MATERIAL: HORMIGON

CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN

Determinación de la pérdida por
calcínación UNE-EN 196-2

Parámetro	Resultado
PC (%)	

Determinación del amonio método
colorimétrico

Parámetro	Resultado
NH ₄ (%)	0,0000

Determinación de los óxidos de hierro y aluminio
UNE-EN 196-2

Parámetro	Resultado
Al ₂ O ₃ (%)	
Fe ₂ O ₃	



Nº MUESTRA: I-OLS-3294/14

Nº ACTA: 2014/39192



ACTA DE RESULTADO DE ENSAYOS

PETICIONARIO: 140485: UTE CONS.ASF.Y CONTRL.S.A.-ACSA E INF.S.A., Av. San Francisco Javier nº 22. Esc. 327. Pta. 328, 41018-Sevilla, Sevilla

ALBARÁN Nº:

CONTRATISTA:

OBRA: 40052341: CANAL DE UTRERA (SEVILLA)

FECHA DE TOMA: 24/03/2014 DESCRIPCIÓN MATERIAL: HORMIGÓN

HORA DE TOMA: — TEMPERATURA (ºC): CLIMA:

LOCALIZACIÓN: ZONA CON PICADURA MURO DESPLOMADO

PETICIÓN Nº:

LOTE: SU REF./PROCEDENCIA: M-8

DATOS COMPLEMENTARIOS:

MATERIAL: HORMIGÓN

CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN

Determinación de nitratos método colorimétrico según I.T.

Parámetro	Resultado
NO ₃ (%)	

Determinación de cloruros UNE 112010

Parámetro	Resultado
Cl ⁻ (%)	0,225

Determinación de sulfatos UNE-EN 1744-1

Parámetro	Resultado
SO ₄ (%)	1,06

Determinación de la profundidad carbonatación método de la fenolftaleína según I.T.

Parámetro	Resultado
(No carbonatado o C.F)	
Profundidad C, mm	

Determinación oxina método M.H. Robert

Parámetro	Resultado
Al ₂ O ₃ (%)	

Determinación pH UNE 77305

Parámetro	Resultado
pH	

Determinación de densidad aparente, porosidad y absorción UNE-EN 1015-10

Parámetro	Resultado
Densidad (g/cm ³)	
Porosidad (%)	
Absorción, abs (%)	

Determinación de nitratos método test Dr. Lange

Parámetro	Resultado
NO ₃ (%)	

Determinación de CaO UNE-EN 196-2

Parámetro	Resultado
CaO (%)	

Determinación de SiO₂ UNE-EN 196-2

Parámetro	Resultado
SiO ₂ (%)	

Determinación de MgO UNE-EN 196-2

Parámetro	Resultado
MgO (%)	



Nº MUESTRA: I-OLS-3294/14

Nº ACTA: 2014/39192

ACTA DE RESULTADO DE ENSAYOS

PETICIONARIO: 140485: UTE CONS.ASF.Y CONTRL.S.A.-ACSA E INF.S.A., Av. San Francisco Javier nº 22. Esc. 327. Pta. 328, 41018-Sevilla, Sevilla

ALBARÁN Nº:

CONTRATISTA:

OBRA: 40052341: CANAL DE UTRERA (SEVILLA)

FECHA DE TOMA: 24/03/2014 DESCRIPCIÓN MATERIAL: HORMIGÓN

HORA DE TOMA: — TEMPERATURA (ºC): CLIMA:

LOCALIZACIÓN: ZONA CON PICADURA MURO DESPLOMADO

PETICIÓN Nº:

LOTE: SU REF./PROCEDENCIA: M-8

DATOS COMPLEMENTARIOS:

MATERIAL: HORMIGÓN

CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN

Determinación de la pérdida por calcificación UNE-EN 196-2

Parámetro	Resultado
PC (%)	

Determinación del amonio método colorimétrico

Parámetro	Resultado
NH ₄ (%)	

Determinación de los óxidos de hierro y aluminio UNE-EN 196-2

Parámetro	Resultado
Al ₂ O ₃ (%)	
Fe ₂ O ₃	



Nº MUESTRA: I-DLB-3295/14

Nº ACTA-2014/29193

ACTA DE RESULTADO DE ENSAYOS

PETICIONARIO: UTE CONSASF Y CONTRIL S.A.-ACSA E INF.S.A., Av. San Francisco Javier nº 22. Esc. 327. Pta. 328, 41018-Sevilla, Sevilla

ALBARÁN Nº:

CONTRATISTA:

OBRA: 40052341: CANAL DE UTRERA (SEVILLA)

FECHA DE TOMA: 24/03/2014 DESCRIPCIÓN MATERIAL: HORMIGÓN

HORA DE TOMA: — TEMPERATURA (°C): CLIMA:

LOCALIZACIÓN: MURO EN PIE MARGEN IZQUIERDA 1,60 M DE ALTURA

PETICIÓN Nº:

LOTE:

SU REF./PROCEDENCIA: M-9

DATOS COMPLEMENTARIOS:

MATERIAL: HORMIGÓN

CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN**Determinación de nitritos
método colorimétrico según I.T.**

Parámetro	Resultado
NO ₂ (%)	

**Determinación de sulfatos
UNE-EN 1744-1**

Parámetro	Resultado
SO ₄ (%)	1,02

**Determinación oxina
método M.H. Robert**

Parámetro	Resultado
ALO ₂ (%)	

**Determinación de densidad aparente,
porosidad y absorción UNE-EN 1015-10**

Parámetro	Resultado
Densidad (g/cm ³)	
Porosidad (%)	
Absorción, abs (%)	

Determinación de SiO₂ UNE-EN 196-2

Parámetro	Resultado
SiO ₂ (%)	

**Determinación de cloruros
UNE 112010**

Parámetro	Resultado
Cl ⁻ (%)	0,035

**Determinación de la profundidad carbonatación
método de la fenolftaleína según I.T.**

Parámetro	Resultado
¿No carbonatado o C.?	
Profundidad C., mm	

Determinación pH UNE 77305

Parámetro	Resultado
pH	

**Determinación de nitratos método
test Dr. Lange**

Parámetro	Resultado
NO ₃ (%)	

Determinación de CaO UNE-EN 196-2

Parámetro	Resultado
CaO (%)	

Determinación de MgO UNE-EN 196-2

Parámetro	Resultado
MgO (%)	



Nº MUESTRA: I-OLB-3296/14

Nº ACTA-2014/39193

ACTA DE RESULTADO DE ENSAYOS

PETICIONARIO: 140485: UTE CONS.ASF.Y CONTRL S.A.-ACSA E INF.S.A., Av. San Francisco Javier nº 22. Esc. 327. Pta. 328, 41018-Sevilla, Sevilla

ALBARÁN Nº:

CONTRATISTA:

OBRA: 40052341: CANAL DE UTRERA (SEVILLA)

FECHA DE TOMA: 24/03/2014 DESCRIPCIÓN MATERIAL: HORMIGÓN

HORA DE TOMA: — TEMPERATURA (ºC): CLIMA:

LOCALIZACIÓN: MURO EN PIE MARGEN IZQUIERDA 1,60 M DE ALTURA

PETICIÓN Nº:

LOTE: SU REF./PROCEDENCIA: M-9

DATOS COMPLEMENTARIOS:

MATERIAL: HORMIGÓN

CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN**Determinación de la pérdida por calcinación UNE-EN 196-2**

Parámetro	Resultado
PC (%)	

Determinación del amonio método colorimétrico

Parámetro	Resultado
NH ₄ (%)	

Determinación de los óxidos de hierro y aluminio UNE-EN 196-2

Parámetro	Resultado
Al ₂ O ₃ (%)	
Fe ₂ O ₃	



Nº MUESTRA: I-OLB-3296/14

Nº ACTA-2014/39194

ACTA DE RESULTADO DE ENSAYOS

PETICIONARIO: 140485: UTE CONS.ASF.Y CONTRL S.A.-ACSA E INF.S.A., Av. San Francisco Javier nº 22. Esc. 327. Pta. 328, 41018-Sevilla, Sevilla

ALBARÁN Nº:

CONTRATISTA:

OBRA: 40052341: CANAL DE UTRERA (SEVILLA)

FECHA DE TOMA: 24/03/2014 DESCRIPCIÓN MATERIAL: HORMIGÓN

HORA DE TOMA: — TEMPERATURA (ºC): CLIMA:

LOCALIZACIÓN: MURO EN PIE MARGEN DERECHA 1,60 M DE ALTURA

PETICIÓN Nº:

LOTE: SU REF./PROCEDENCIA: M-10

DATOS COMPLEMENTARIOS:

MATERIAL: HORMIGÓN

CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN**Determinación de nitratos método colorimétrico según I.T.**

Parámetro	Resultado
NO ₃ (%)	

Determinación de cloruros UNE 112010

Parámetro	Resultado
Cl (%)	0,035

Determinación de sulfatos UNE-EN 1744-1

Parámetro	Resultado
SO ₄ (%)	0,73

Determinación de la profundidad carbonatación método de la fenolftaleína según I.T.

Parámetro	Resultado
(No carbonatado o C.2)	
Profundidad C., mm	

Determinación oxina método M.H. Robert

Parámetro	Resultado
Al ₂ O ₃ (%)	

Determinación pH UNE 77305

Parámetro	Resultado
pH	

Determinación de densidad aparente, porosidad y absorción UNE-EN 1015-10

Parámetro	Resultado
Densidad (g/cm ³)	
Porosidad (%)	
Absorción, abs (%)	

Determinación de nitratos método test Dr. Lange

Parámetro	Resultado
NO ₃ (%)	

Determinación de CaO UNE-EN 196-2

Parámetro	Resultado
CaO (%)	

Determinación de SiO₂ UNE-EN 196-2

Parámetro	Resultado
SiO ₂ (%)	

Determinación de MgO UNE-EN 196-2

Parámetro	Resultado
MgO (%)	



Nº MUESTRA: I-018-3296/14

Nº ACTA-2014/39194

ACTA DE RESULTADO DE ENSAYOS

PETICIONARIO: 140485: UTE CONSASF.Y CONTRL S.A.-ACSA E INF.S.A., Av. San Francisco Javier nº 22. Etc.
327. Pita. 328, 41018-Sevilla, Sevilla

ALBARÁN Nº:

CONTRATISTA:

OBRA: 40252341: CANAL DE UTRERA (SEVILLA)

FECHA DE TOMA: 24/03/2014 DESCRIPCIÓN MATERIAL: HORMIGON

HORA DE TOMA: — TEMPERATURA (ºC): CLIMA:

LOCALIZACIÓN: MURO EN PIE MARGEN DERECHA 1,60 M DE ALTURA

PETICIÓN Nº:

LOTE:

SU REF/PROCEDENCIA: M-10

DATOS COMPLEMENTARIOS:

MATERIAL: HORMIGON

CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN**Determinación de la pérdida por
calcinación UNE-EN 196-2**

Parámetro	Resultado
PC (%)	

**Determinación del amonio método
colorimétrico**

Parámetro	Resultado
NH ₄ (%)	

**Determinación de los óxidos de hierro y aluminio
UNE-EN 196-2**

Parámetro	Resultado
Al ₂ O ₃ (%)	
Fe ₂ O ₃	



Nº MUESTRA: I-DLB-3297/14
Nº ACTA-2014/39195

ACTA DE RESULTADO DE ENSAYOS

PETICIONARIO: 140485: UTE CONS.ASF.Y CONTRL S.A.-ACSA E INF.S.A., Av. San Francisco Javier nº 22. Esc. 327. Pta. 328, 41018-Sevilla, Sevilla **ALBARÁN Nº:**

CONTRATISTA:
OBRA: 4005341: CANAL DE UTRERA (SEVILLA)

FECHA DE TOMA: 24/03/2014 **DESCRIPCIÓN MATERIAL:** HORMIGÓN

HORA DE TOMA: — **TEMPERATURA (ºC):** **CLIMA:**

LOCALIZACIÓN: MARGEN DERECHA CORONACION **PETICIÓN Nº:**

LOTE: **SU REF./PROCEDENCIA:** M-11

DATOS COMPLEMENTARIOS:

MATERIAL: HORMIGÓN

CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN

Determinación de nitratos método colorimétrico según I.T.

Parámetro	Resultado
NO ₃ (%)	

Determinación de sulfatos UNE-EN 1744-1

Parámetro	Resultado
SO ₄ (%)	0,74

Determinación oxina método M.H. Robert

Parámetro	Resultado
Al ₂ O ₃ (%)	

Determinación de densidad aparente, porosidad y absorción UNE-EN 1015-10

Parámetro	Resultado
Densidad (g/cm ³)	
Porosidad (%)	
Absorción, abs (%)	

Determinación de SiO₂ UNE-EN 196-2

Parámetro	Resultado
SiO ₂ (%)	

Determinación de cloruros UNE 112010

Parámetro	Resultado
Cl ⁻ (%)	0,035

Determinación de la profundidad carbonatación método de la fenolftaleína según I.T.

Parámetro	Resultado
(No carbonatado o C?)	
Profundidad C ₁ , mm	

Determinación pH UNE 77305

Parámetro	Resultado
pH	

Determinación de nitratos método test Dr. Lange

Parámetro	Resultado
NO ₃ (%)	

Determinación de CaO UNE-EN 196-2

Parámetro	Resultado
CaO (%)	

Determinación de MgO UNE-EN 196-2

Parámetro	Resultado
MgO (%)	



Nº MUESTRA: I-OLB-3297/14

Nº ACTA-2014/39195

ACTA DE RESULTADO DE ENSAYOS

PETICIONARIO: 140485- UTE CONS.ASF.Y CONTRL.S.A.-ACSA E INF.S.A., Av. San Francisco Javier nº 22. Esc. 327. Pta. 328, 41018-Sevilla, Sevilla

ALBARÁN Nº:

CONTRATISTA:

OBRA: 40052341- CANAL DE UTRERA (SEVILLA)

FECHA DE TOMA: 24/03/2014 DESCRIPCIÓN MATERIAL: HORMIGON

HORA DE TOMA: — TEMPERATURA (ºC): CLIMA:

LOCALIZACIÓN: MARGEN DERECHA CORDONACION

PETICIÓN Nº:

LOTE:

SU REF/PROCEDENCIA: M-11

DATOS COMPLEMENTARIOS:

MATERIAL: HORMIGON

CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN

Determinación de la pérdida por calcinación UNE-EN 196-2

Parámetro	Resultado
PC (%)	

Determinación del amonio método colorimétrico

Parámetro	Resultado
NH ₄ (%)	

Determinación de los óxidos de hierro y aluminio UNE-EN 196-2

Parámetro	Resultado
Al ₂ O ₃ (%)	
Fe ₂ O ₃	



Nº MUESTRA: I-DLB-2913/14

Nº ACTA-2014/38665

ACTA DE RESULTADO DE ENSAYOS

ENSAYO DE AZUL DE METILENO UNE-EN 933-~~MB~~ (g de colorante por kg fracción 0/2 mm):

Observaciones:

DETERMINACIÓN DE LOS CLORUROS SOLUBLES EN AGUA POR EL MÉTODO DE VOLHARD UNE-EN 1744-1 APDO. 7

Cl: 0.014 %

Observaciones:

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO TOTAL DE AZUFRE UNE-EN 1744-1 APDO. 10, 11, 12 y 13

Contenido total en azufre, S:

Observaciones:

DETERMINACIÓN DE LOS SULFATOS SOLUBLES EN AGUA UNE-EN 1744-1 APDO. 30

SO₃ soluble:

Observaciones:

DETERMINACIÓN DE ÓXIDO DE SILICIO, SiO₂

SiO₂ :

Observaciones:

DETERMINACIÓN DE LA REACTIVIDAD POTENCIAL ÁLCALI-SÍLICE Y ÁLCALI-SULFATO. MÉTODO ACCELERADO EN PRUEBAS DE MORTERO UNE 146506-EX

Expansión a los 14 días:

Observaciones:

DETERMINACIÓN DE LOS COMPUESTOS ORGÁNICOS: CONTENIDO EN HUMUS UNE-EN 1744-1 APDO. 15,1

COLOR:

Observaciones:

DETERMINACIÓN DE LOS SULFATOS SOLUBLES EN ÁCIDO UNE-EN 1744-1 APDO. 12

Contenidos en sulfatos, SO₃: 0.14 %

Observaciones:

DETERMINACIÓN DE CONTAMINANTES LIGEROS UNE-EN 1744-1 APDO. 14,2

mg/l

Observaciones:

ENSAYO DE SULFATO DE MAGNESIO UNE-EN 1867-2

Fracción ensayada tamiz UNE(mm):

MS:

Observaciones:

DETERMINACIÓN DE LA REACTIVIDAD POTENCIAL ÁLCALI-CARBONATO. MÉTODO QUÍMICO UNE 146507-2 EX

CaO:

MgO:

Al₂O₃:

Clasificación reactividad:

Observaciones:



Nº MUESTRA: I-DLB-2913/14

Nº ACTA-2014/38665

ACTA DE RESULTADO DE ENSAYOS

DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE CARAS DE
FRACTURA DE LAS PARTÍCULAS DE ÁRIDO GRUESO UNE-EN 933-5+A1

Valor medio ponderado de partículas trituradas incluidas las totalmente trituradas, C_{tp} :

Valor medio ponderado de partículas totalmente trituradas, C_{tp} :

Valor medio ponderado de partículas redondeadas incluidas las totalmente redondeadas, C_{rp} :

Valor medio ponderado de partículas totalmente redondeadas, C_{rp} :

Observaciones:

DETERMINACIÓN DE TERRONES DE ARCILLA UNE 7133

TA:

Observaciones:

DETERMINACIÓN DE LAS PARTÍCULAS BLANDAS UNE 7134

PB:

Observaciones:

MEDIDA DEL COEFICIENTE DE FRIABILIDAD DE LAS ARENAS UNE 83115

F.A.:

Observaciones:

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AL DESGASTE (MICRO-DEVAL) UNE-EN 1097-1+A1

M_{de}:

Observaciones:

DETERMINACIÓN DE LA FORMA DE LAS PARTÍCULAS: COEFICIENTE DE FORMA UNE-EN 933-4

Partículas no cúbicas, SI:

Observaciones:

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE PARTÍCULAS Y LA ABSORCIÓN DE
AGUA UNE-EN 1097-6+A1Densidad aparente de las partículas, ρ_s :Densidad de partículas tras secado en estufa, ρ_d :Absorción de agua, WA_{24} :Densidad de partículas saturadas con la superficie seca, ρ_{sd} :

Observaciones:

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE
Y LA POROSIDAD UNE-EN 1097-3Densidad aparente, ρ_s :Huecos (porosidad), v :

Observaciones:



Nº MUESTRA: I-DLB-2913/14

Nº ACTA-2014/38659



ACTA DE RESULTADO DE ENSAYOS

PETICIONARIO: 140485: UTE CONS.ASF.Y CONTRL S.A.-ACSA E INF.S.A., Av. San Francisco Javier nº 22. Esc. 327. Pita. 328, 41018-Sevilla, Sevilla

CONTRATISTA:

OBRA: 40052341: CANAL DE UTRERA (SEVILLA)

FECHA DE TOMA: 07/03/2014

DESCRIPCIÓN MATERIAL: ZAHORRA

LOCALIZACIÓN:

LOTE:

TIPO MUESTRA:

FECHA INICIO: 17/03/2014

FECHA FIN: 18/03/2014

AGRESIVIDAD QUÍMICA DE SUELOS EHE-08

		Agresividad	
		-----	-----
Sulfatos (EHE-08 UNE 83963)	-----	-----	-----
Acidez Bauman - Gully (EHE-08 UNE 83962)	0 ml/kg	No agresivo	-
		-----	-----



Nº MUESTRA: I-DLB-2913/14

Nº ACTA-2014/38666

ACTA DE RESULTADO DE ENSAYOS

PETICIONARIO: 140485: UTE CONS.ASF.Y CONTRL S.A.-ACSA E INF.S.A., Av. San Francisco Javier nº 22. Esc. 327. Pta. 328, 41018-Sevilla, Sevilla

ALBARÁN Nº:**CONTRATISTA:****OBRA:** 40052341: CANAL DE UTRERA (SEVILLA)**FECHA DE TOMA:** 07/03/2014 **DESCRIPCIÓN MATERIAL:** ZAHORRA**HORA DE TOMA:** --- **TEMPERATURA (°C):** **CLIMA:****LOCALIZACIÓN:****PETICIÓN Nº:****LOTE:****SU REF/PROCEDENCIA:****DATOS COMPLEMENTARIOS:****MATERIAL:** ZAHORRA**CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN****Determinación de nitritos
método colorimétrico según I.T.**

Parámetro	Resultado
NO ₂ (%)	0,00000

**Determinación de cloruros
UNE 112010**

Parámetro	Resultado
Cl ⁻ (%)	

**Determinación de sulfatos
UNE-EN 1744-1**

Parámetro	Resultado
SO ₄ (%)	

**Determinación de la profundidad carbonatación
método de la fenolftaleína según I.T.**

Parámetro	Resultado
¿No carbonatado o C.?	
Profundidad C., mm	

**Determinación oxina
método M.H. Robert**

Parámetro	Resultado
ALO ₂ (%)	

Determinación pH UNE 77305

Parámetro	Resultado
pH	9,60

**Determinación de densidad aparente,
porosidad y absorción UNE-EN 1015-10**

Parámetro	Resultado
Densidad (g/cm ³)	
Porosidad (%)	
Absorción, abs (%)	

**Determinación de nitratos método
test Dr. Lange**

Parámetro	Resultado
NO ₃ (%)	0,00200

Determinación de CaO UNE-EN 196-2

Parámetro	Resultado
CaO (%)	

Determinación de SiO₂ UNE-EN 196-2

Parámetro	Resultado
SiO ₂ (%)	

Determinación de MgO UNE-EN 196-2

Parámetro	Resultado
MgO (%)	



Nº MUESTRA: I-DLB-2913/14

Nº ACTA-2014/38666

ACTA DE RESULTADO DE ENSAYOS

PETICIONARIO: 140485: UTE CONS.ASF.Y CONTRL S.A.-ACSA E INF.S.A., Av. San Francisco Javier nº 22. Esc. 327. Plta. 328, 41018-Sevilla, Sevilla

ALBARÁN Nº:**CONTRATISTA:****OBRA:** 40052341: CANAL DE UTRERA (SEVILLA)**FECHA DE TOMA:** 07/03/2014 **DESCRIPCIÓN MATERIAL:** ZAHORRA**HORA DE TOMA:** --- **TEMPERATURA (°C):** **CLIMA:****LOCALIZACIÓN:****PETICIÓN Nº:****LOTE:****SU REF/PROCEDENCIA:****DATOS COMPLEMENTARIOS:****MATERIAL:** ZAHORRA**CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN****Determinación de la pérdida por calcinación UNE-EN 196-2**

Parámetro	Resultado
PC (%)	

Determinación del amonio método colorimétrico

Parámetro	Resultado
NH ₄ (%)	0,0010

Determinación de los óxidos de hierro y aluminio UNE-EN 196-2

Parámetro	Resultado
Al ₂ O ₃ (%)	
Fe ₂ O ₃	



MUESTRA IDLE: 2918/14

Nº ACTA: 38790/2014

ACTA DE RESULTADO DE ENSAYOS

PETICIONARIO: UTE CONS. ASF Y CONTROL S.A - ACSA E INF. S.A

OBRA: 40052341- CANAL DE UTRERA. SEVILLA

IDENTIFICACION DE LA MUESTRA: AGUA DEL CANAL

INICIO

FIN

FECHA DE TOMA: 07/03/2014

LOTE: M-5

ANÁLISIS QUÍMICO DE AGUA DE CONTACTO (EHE-08)

Parámetro	Norma	Resultado ensayo
Valor del pH	UNE 83952	8,8
Magnesio (Mg^{2+}) (mg/l)	UNE 83955	62,4
Amonio (NH_4^+) (mg/l)	UNE 83954	0
Sulfatos (SO_4^{2-}) (mg/l)	UNE 83956	493,5
CO_2 (mg/l)	UNE-EN 13577	0
Residuo seco (mg/l)	UNE 83957	2972
Cloruros (Cl^-) (mg/l)	UNE 7178	731
Durez total	UNE 77040	74,5 °F
Nitratos (NO_3) (mg/l)	Test de Merck	>60
Nitritos (NO_2) (mg/l)	Test de Merck	0,3
Sulfuros (mg/l)	I.T.	499,7
Calcio (Ca) (mg/l)	UNE 77013	195,2



MUESTRA IDLB: 2919/14

Nº ACTA: 38789/2014

ACTA DE RESULTADO DE ENSAYOS

PETICIONARIO: UTE CONS. ASF Y CONTROL S.A - ACSA E INF. S.A

OBRA: 40052341- CANAL DE UTRERA. SEVILLA

IDENTIFICACION DE LA MUESTRA: AGUA TRASDOS DEL MURO

FECHA DE TOMA 07/03/2014

LOTE: M-6

INICIO

FIN

ANÁLISIS QUÍMICO DE AGUA DE CONTACTO (EHE-08)

Parámetro	Norma	Resultado ensayo
Valor del pH	UNE 83952	7,79
Magnesio (Mg^{2+}) (mg/l)	UNE 83955	475,5
Amonio (NH_4^+) (mg/l)	UNE 83954	0
Sulfatos (SO_4^{2-}) (mg/l)	UNE 83956	1723
CO ₂ (mg/l)	UNE-EN 13577	0
Residuo seco (mg/l)	UNE 83957	27580
Cloruros (Cl ⁻) (mg/l)	UNE 7178	7732
Durez total	UNE 77040	661,7 °F
Nitratos (NO ₃) (mg/l)	Test de Merck	42
Nitritos (NO ₂) (mg/l)	Test de Merck	0,05
Sulfuros (mg/l)	I.T.	1798,7
Calcio (Ca) (mg/l)	UNE 77013	1864



Nº MUESTRA: I-DLB-2916/14

Nº ACTA-2014/38651

ACTA DE RESULTADO DE ENSAYOS

PETICIONARIO: 140485: UTE CONS.ASF.Y CONTRL S.A.-ACSA E INF.S.A., Av. San Francisco Javier nº 22. Esc. 327. Píta. 328, 41018-Sevilla, Sevilla

CONTRATISTA:

OBRA: 40052341: CANAL DE UTRERA (SEVILLA)

FECHA DE TOMA: 07/03/2014

DESCRIPCIÓN MATERIAL: SUELO

LOCALIZACIÓN: TIERRA COLOR CLARO TRASDOS DE MURO

LOTE:

SU REF/PROCEDENCIA: M-8

IDENTIFICACIÓN QUÍMICA

Contenido de materia orgánica oxidable de un suelo por el método del permanganato potásico UNE 103-204+ Err

Determinación del contenido en sales solubles de los suelos NLT-114

Determinación cuantitativa del contenido en sulfatos solubles de un suelo
UNE 103-201+Err, % SO₃

1.37 %

Contenido de yeso en suelos NLT-115, % CaSO₄·2H₂O



Nº MUESTRA: I-DLB-2916/14

Nº ACTA-2014/38910



ACTA DE RESULTADO DE ENSAYOS

PETICIONARIO: 140485: UTE CONS.ASE.Y CONTRIL S.A.-ACSA E INF.S.A., Av. San Francisco Javier nº 22. Esc. 327. Pita. 328, 41018-Sevilla, Sevilla

CONTRATISTA:

OBRA: 40052341: CANAL DE UTRERA (SEVILLA)

FECHA DE TOMA: 07/03/2014

DESCRIPCIÓN MATERIAL: SUELO

LOCALIZACIÓN: TIERRA COLOR CLARO TRASDOS DE MURO

LOTE:

TIPO MUESTRA:

FECHA INICIO: 17/03/2014

FECHA FIN: 18/03/2014

AGRESIVIDAD QUÍMICA DE SUELOS EHE-08

		Agresividad	
Sulfatos (EHE-08 UNE 83963)	16482 mg/Kg	Fuerte	Qc
Acidez Bauman - Gully (EHE-08 UNE 83962)	0 ml/kg	No agresivo	-
		Fuerte	Qc



Nº MUESTRA: I-DLB-2916/14
Nº ACTA-2014/38653



ACTA DE RESULTADO DE ENSAYOS

PETICIONARIO: 140485: UTE CONS.ASF.Y CONTRL S.A.-ACSA E INF.S.A., Av. San Francisco Javier nº 22. Esc. 327. Pta. 328, 41018-Sevilla, Sevilla

CONTRATISTA:

OBRA: 40052341: CANAL DE UTRERA (SEVILLA)

FECHA DE TOMA: 07/03/2014

DESCRIPCIÓN MATERIAL: SUELO

LOCALIZACIÓN: TIERRA COLOR CLARO TRASDOS DE MURO

LOTE:

SU REF/PROCEDENCIA: M-6

ENSAYO A UN SUELO

Determinación pH UNE 77305

8.84

Observaciones:

Determinación del porcentaje de carbonato cálcico activo en un suelo (Proc. Tratamiento suelos con cal GIASA Ver. 2 Feb 2007)

CaCO₃ activo:

Observaciones:

Resistividad (BS 1377-3), Ohmio*cm

Observaciones:

Determinación de sulfuros, S (%)

Observaciones:

Conductividad (I.T.), μ S/cm

Observaciones:



Nº MUESTRA: I-DLB-2916/14
Nº ACTA-2014/38650



ACTA DE RESULTADO DE ENSAYOS

PETICIONARIO: 140485: UTE CONS.ASF.Y CONTRL S.A.-ACSA E INF.S.A., Av. San Francisco Javier nº 22. Esc. 327. Pita. 328, 41018-Sevilla, Sevilla

CONTRATISTA:

OBRA: 40052341: CANAL DE UTRERA (SEVILLA)

FECHA DE TOMA: 07/03/2014

DESCRIPCIÓN MATERIAL: SUELO

LOCALIZACIÓN: TIERRA COLOR CLARO TRASDOS DE MURO

LOTE:

SU REF/PROCEDENCIA: M-6

ENSAYO A UN SUELO

Determinación de cloruros solubles en agua UNE 1744-1 Apto. 7, Cl-

0.14 %

Nº MUESTRA: I-DLB-2917/14
Nº ACTA-2014/38654



ACTA DE RESULTADO DE ENSAYOS

PETICIONARIO: 140485: UTE CONS.ASF.Y CONTRL S.A.-ACSA E INF.S.A., Av. San Francisco Javier nº 22. Esc. 327. Pita. 328, 41018-Sevilla, Sevilla

CONTRATISTA:

OBRA: 40052341: CANAL DE UTRERA (SEVILLA)

FECHA DE TOMA: 07/03/2014

DESCRIPCIÓN MATERIAL: SUELO

LOCALIZACIÓN: TIERRA COLOR OSCURO TRASDOS DE MURO

LOTE:

SU REF/PROCEDENCIA: M-7

ENSAYO A UN SUELO

Determinación de cloruros solubles en agua UNE 1744-1 Apto. 7, Cl-

0.007 %



Nº MUESTRA: I-DLB-2917/14

Nº ACTA-2014/38655

ACTA DE RESULTADO DE ENSAYOS

PETICIONARIO: 140485: UTE CONS.ASF.Y CONTRL S.A.-ACSA E INF.S.A., Av. San Francisco Javier nº 22. Esc. 327. Pta. 328, 41018-Sevilla, Sevilla

CONTRATISTA:

OBRA: 40052341: CANAL DE UTRERA (SEVILLA)

FECHA DE TOMA: 07/03/2014

DESCRIPCIÓN MATERIAL: SUELO

LOCALIZACIÓN: TIERRA COLOR OSCURO TRASDOS DE MURO

LOTE:

SU REF/PROCEDENCIA: M-7

IDENTIFICACIÓN QUÍMICA

Contenido de materia orgánica oxidable de un suelo por el método del permanganato potásico UNE 103-204+ Err

Determinación del contenido en sales solubles de los suelos NLT-114

Determinación cuantitativa del contenido en sulfatos solubles de un suelo UNE 103-201+Err, % SO₃

0.00 %

Contenido de yeso en suelos NLT-115, % CaSO₄·2H₂O



Nº MUESTRA: I-DLB-2917/14

Nº ACTA-2014/38656



ACTA DE RESULTADO DE ENSAYOS

PETICIONARIO: 140485: UTE CONS.ASF.Y CONTRL S.A.-ACSA E INF.S.A., Av. San Francisco Javier nº 22. Esc. 327. P.lta. 328, 41018-Sevilla, Sevilla

CONTRATISTA:

OBRA: 40052341: CANAL DE UTRERA (SEVILLA)

FECHA DE TOMA: 07/03/2014

DESCRIPCIÓN MATERIAL: SUELO

LOCALIZACIÓN: TIERRA COLOR OSCURO TRASDOS DE MURO

LOTE:

TIPO MUESTRA:

FECHA INICIO: 17/03/2014

FECHA FIN: 18/03/2014

AGRESIVIDAD QUÍMICA DE SUELOS EHE-08

		Agresividad	
		-----	-----
Sulfatos (EHE-08 UNE 83963)	-----		
Acidez Bauman - Gully (EHE-08 UNE 83962)	0 ml/kg	No agresivo	-
		-----	-----



Nº MUESTRA: I-DLB-2917/14
Nº ACTA-2014/38657



ACTA DE RESULTADO DE ENSAYOS

PETICIONARIO: 140485: UTE CONS.ASF.Y CONTRL S.A.-ACSA E INF.S.A., Av. San Francisco Javier nº 22. Esc. 327. P.lta. 328, 41018-Sevilla, Sevilla

CONTRATISTA:

OBRA: 40052341: CANAL DE UTRERA (SEVILLA)

FECHA DE TOMA: 07/03/2014

DESCRIPCIÓN MATERIAL: SUELO

LOCALIZACIÓN: TIERRA COLOR OSCURO TRASDOS DE MURO

LOTE:

SU REF/PROCEDENCIA: M-7

ENSAYO A UN SUELO

Determinación pH UNE 77305

8.61

Observaciones:

Determinación del porcentaje de carbonato cálcico activo en un suelo (Proc. Tratamiento suelos con cal GIASA Ver. 2 Feb 2007)

CaCO₃activo:

Observaciones:

Resistividad (BS 1377-3), Ohmio*cm

Observaciones:

Determinación de sulfuros, S (%)

Observaciones:

Conductividad (I.T.), μ S/cm

Observaciones:



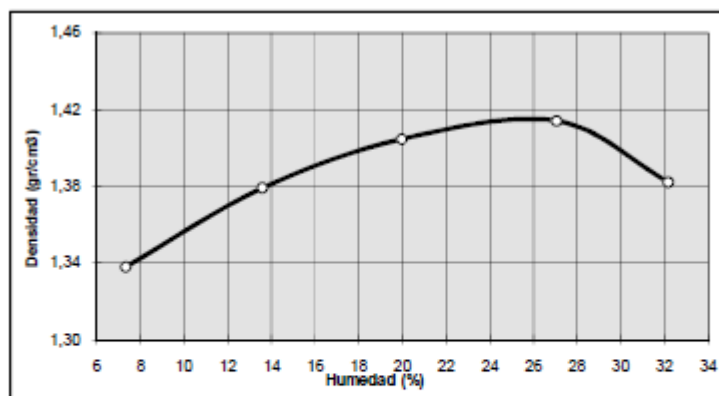
ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYO

ENSAYO DE COMPACTACIÓN. PRÓCTOR NORMAL (UNE 103500-94)

Nº EXPEDIENTE	02.14/S03	ORDEN Nº	-
PETICIONARIO	UTE Calzas Anchas	DIRECCIÓN	Utrera
OBRA	Encauz. Arroyo Calzas Anchas	CÓDIGO OBRA	02.14
MUESTRA	Terreno natural	FECHA TOMA	20/02/14
LOCALIZACIÓN	Zona muro	PROCEDENCIA	Excavación
LOTE	-	ALBARÁN	-

RESULTADOS

Punto	1	2	3	4	5
Densidad (g/cm^3)	1,34	1,38	1,40	1,41	1,38
Humedad (%)	7,31	13,56	19,96	27,07	32,18



Observaciones:

Densidad máxima g/cm^3	1,41
Humedad óptima (%)	26,0

El día de Sta. María, 25 de febrero de 2014

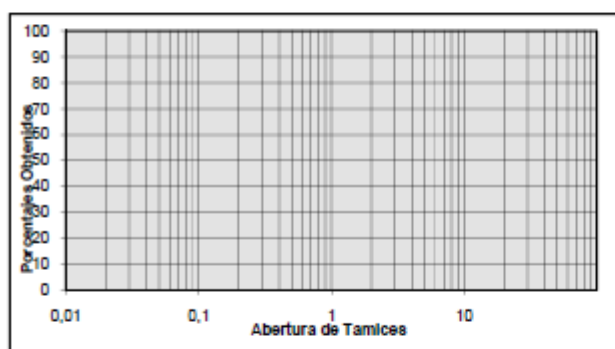


ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYO

PREPARACIÓN DE MUESTRAS PARA ENSAYOS DE SUELOS (UNE 103100:1995)			
GRANULOMETRÍA DE SUELOS POR TAMIZADO (UNE 103101:1995)			
DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO Y PLÁSTICO (UNE 103103-94; UNE 103104-93)			
MATERIA ORGÁNICA OXIDABLE POR EL MÉTODO DEL PERMANGATO POTÁSICO (UNE 103204-93)			
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO EN SALES SOLUBLES DE LOS SUELOS (NLT-114/99)			

Nº EXPEDIENTE	02.14/S03	ORDEN Nº	-
PETICIONARIO	UTE Calzas Anchas	DIRECCIÓN	Utrera
OBRA	Encauz. Arroyo Calzas Anchas	CÓDIGO OBRA	02.14
MUESTRA	Terreno natural	FECHA TOMA	20/02/14
LOCALIZACIÓN	Zona muro	PROCEDENCIA	Excavación
LOTE	-	ACTIVIDAD	-

CURVA GRANULOMÉTRICA



U.N.E.	Pasa total acumulado
100	
63	
50	
40	
25	
20	
10	
5	
2	
0,4	
0,08	

LÍMITE LÍQUIDO	79,8
LÍMITE PLÁSTICO	34,0
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	45,7

% MATERIA ORGÁNICA	-
% SALES SOLUBLES	-



ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYO

DURABILIDAD DEL HORMIGÓN. SUELOS AGRESIVOS. GRADO DE ACIDEZ BAUMANN-GULLY (UNE 83963:2008)
--

NºEXPEDIENTE	02.14/S03	ORDEN Nº	-
PETICIONARIO	UTE Calzas Anchas	DIRECCIÓN	Utrera
OBRA	Encauz. Arroyo Calzas Anchas	DIR. TÉCNICA	02.14
MUESTRA	Terreno natural	FECHA TOMA	20/02/14
LOCALIZACIÓN	Zona muro	PROCEDENCIA	Excavación
LOTE	-	ACTIVIDAD	-

RESULTADO

GRADO DE ACIDEZ BAUMANN-GULLY (ml/kg suelo seco)	33
CONTENIDO EN IÓN SULFATO SO_4^{2-} (%)	

Observaciones:



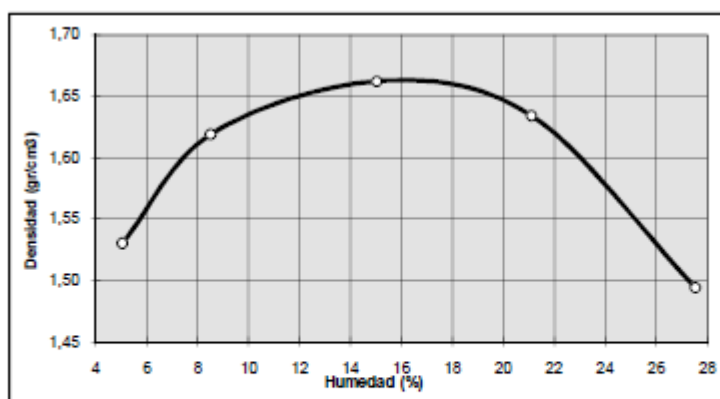
ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYO

ENSAYO DE COMPACTACIÓN. PRÓCTOR NORMAL (UNE 103500-94)

Nº EXPEDIENTE	02.14/S01	ORDEN Nº	-
PETICIONARIO	UTE Calzas Anchas	DIRECCIÓN	Utrera
OBRA	Encauz. Arroyo Calzas Anchas	CÓDIGO OBRA	02.14
MUESTRA	Material excavación negro	FECHA TOMA	18/02/14
LOCALIZACIÓN	Zona muro	PROCEDENCIA	Excavación
LOTE	-	ALBARÁN	-

RESULTADOS

Punto	1	2	3	4	5
Densidad (g/cm^3)	1,53	1,62	1,66	1,63	1,49
Humedad (%)	5,03	8,52	15,02	21,09	27,54



Observaciones:

Densidad máxima g/cm^3	1,66
Humedad óptima (%)	16,4

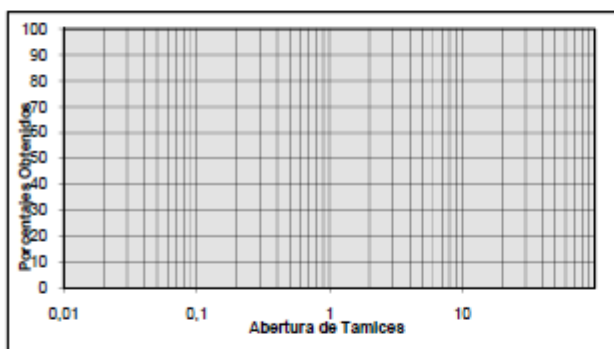


ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYO

PREPARACIÓN DE MUESTRAS PARA ENSAYOS DE SUELOS (UNE 103100:1995)
GRANULOMETRIA DE SUELOS POR TAMIZADO (UNE 103101:1995)
DETERMINACIÓN DEL LIMITE LÍQUIDO Y PLÁSTICO (UNE 103103-94; UNE 103104-93)
MATERIA ORGÁNICA OXIDABLE POR EL MÉTODO DEL PERMANGATO POTÁSICO (UNE 103204-93)
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO EN SALES SOLUBLES DE LOS SUELOS (NLT-114/99)

NºEXPEDIENTE	02.14/S01	ORDEN Nº	-
PETICIONARIO	UTE Calzas Anchas	DIRECCIÓN	Utrera
OBRA	Encauz. Arroyo Calzas Anchas	CÓDIGO OBRA	02.14
MUESTRA	Material excavación negro	FECHA TOMA	18/02/14
LOCALIZACIÓN	Zona muro	PROCEDENCIA	Excavación
LOTE	-	ACTIVIDAD	-

CURVA GRANULOMÉTRICA



U.N.E.	Pasa total acumulado
100	
63	
50	
40	
25	
20	
10	
5	
2	
0,4	
0,08	

LÍMITE LÍQUIDO	38,0
LÍMITE PLÁSTICO	25,3
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	12,7

% MATERIA ORGÁNICA	-
% SALES SOLUBLES	-



DURABILIDAD DEL HORMIGÓN. SUELOS AGRESIVOS. GRADO DE ACIDEZ BAUMANN-GULLY (UNE 83963:2008)

NºEXPEDIENTE	02.14/S01	ORDEN Nº	-
PETICIONARIO	UTE Calzas Anchas	DIRECCIÓN	Utrera
OBRA	Encauz. Arroyo Calzas Anchas	DIR. TÉCNICA	02.14
MUESTRA	Material excavación negro	FECHA TOMA	18/02/14
LOCALIZACIÓN	Zona muro	PROCEDENCIA	Excavación
LOTE	-	ACTIVIDAD	-

RESULTADO

GRADO DE ACIDEZ BAUMANN-GULLY (ml/kg suelo seco)	17
CONTENIDO EN IÓN SULFATO SO_4^{2-} (%)	

Observaciones:



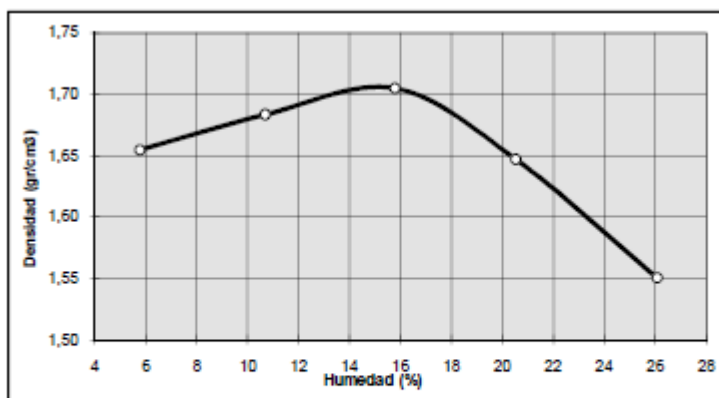
ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYO

ENSAYO DE COMPACTACIÓN. PRÓCTOR NORMAL (UNE 103500-94)

NºEXPEDIENTE	02.14/S02	ORDEN Nº	-
PETICIONARIO	UTE Calzas Anchas	DIRECCIÓN	Utrera
OBRA	Encauz. Arroyo Calzas Anchas	CÓDIGO OBRA	02.14
MUESTRA	Material excavación amarillo	FECHA TOMA	18/02/14
LOCALIZACIÓN	Zona muro	PROCEDENCIA	Excavación
LOTE	-	ALBARÁN	-

RESULTADOS

Punto	1	2	3	4	5
Densidad (g/cm^3)	1,65	1,68	1,71	1,65	1,55
Humedad (%)	5,75	10,67	15,77	20,51	26,07



Observaciones:

Densidad máxima g/cm^3	1,71
Humedad óptima (%)	15,3

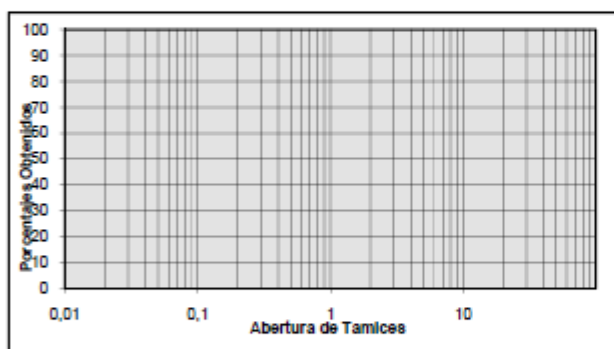


ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYO

PREPARACIÓN DE MUESTRAS PARA ENSAYOS DE SUELOS (UNE 103100:1995)
GRANULOMETRIA DE SUELOS POR TAMIZADO (UNE 103101:1995)
DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO Y PLÁSTICO (UNE 103103-94; UNE 103104-93)
MATERIA ORGÁNICA OXIDABLE POR EL MÉTODO DEL PERMANGATO POTÁSICO (UNE 103204-93)
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO EN SALES SOLUBLES DE LOS SUELOS (NLT-114/99)

NºEXPEDIENTE	02.14/S02	ORDEN Nº	-
PETICIONARIO	UTE Calzas Anchas	DIRECCIÓN	Utrera
OBRA	Encauz. Arroyo Calzas Anchas	CÓDIGO OBRA	02.14
MUESTRA	Material excavación amarillo	FECHA TOMA	18/02/14
LOCALIZACIÓN	Zona muro	PROCEDENCIA	Excavación
LOTE	-	ACTIVIDAD	-

CURVA GRANULOMÉTRICA



U.N.E.	Pasa total acumulado
100	
63	
50	
40	
25	
20	
10	
5	
2	
0,4	
0,08	

LÍMITE LÍQUIDO	24,9
LÍMITE PLÁSTICO	13,9
INDICE DE PLASTICIDAD	11,0

% MATERIA ORGÁNICA	-
% SALES SOLUBLES	-

**ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYO**

DURABILIDAD DEL HORMIGÓN. SUELOS AGRESIVOS. GRADO DE ACIDEZ BAUMANN-GULLY (UNE 83951:2008)
DURABILIDAD DEL HORMIGÓN. SUELOS AGRESIVOS. IÓN SULFATO (UNE 83963:2008)

NºEXPEDIENTE	02.14/S02	ORDEN Nº	-
PETICIONARIO	UTE Calzas Anchas	DIRECCIÓN	Utrera
OBRA	Encauz. Arroyo Calzas Anchas	DIR. TÉCNICA	02.14
MUESTRA	Material excavación amarillo	FECHA TOMA	18/02/14
LOCALIZACIÓN	Zona muro	PROCEDENCIA	Excavación
LOTE	-	ACTIVIDAD	-

RESULTADO

GRADO DE ACIDEZ BAUMANN-GULLY (ml/kg suelo seco)	12
CONTENIDO EN IÓN SULFATO SO_4^{2-} (%)	

Observaciones:

ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYO

TOMA DE MUESTRAS DE AGUA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA AGRESIVIDAD (UNE 83951:2008)
AGRESIVIDAD. VALOR DE PH (UNE 83952:2008)
AGRESIVIDAD. CO_2 AGRESIVO (UNE-EN 13577:2008)
AGRESIVIDAD. IÓN AMONIO (UNE 83954:2008)
AGRESIVIDAD. IÓN MAGNESIO (UNE 83955:2008)
AGRESIVIDAD. RESIDUO SECO (UNE 83957:2008)

NºEXPEDIENTE	02.14/AG01	ORDEN Nº	-
PETICIONARIO	UTE Calzas Anchas	DIRECCIÓN	Utrera
OBRA	Encauz. Arroyo Calzas Anchas	CÓDIGO OBRA	02.14
MUESTRA	Agua	FECHA TOMA	18/02/14
LOCALIZACIÓN	Zona muro	PROCEDENCIA	-
LOTE	-	ACTIVIDAD	-

RESULTADOS

Determinación del pH	7,5
Contenido en CO_2 (mg/l)	15
Concentración de amonio (mg/l)	4
Concentración del ión magnesio (mg/l)	86
Contenido en sulfato SO_4^{2-} (mg/l)	375
Residuo seco (mg/l)	3326
Contenido en cloruro Cl^- (mg/l)	1157
Contenido en nitrato NO_3^- (mg/l)	88

**ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYO**

TOMA DE MUESTRAS DE AGUA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA AGRESIVIDAD (UNE 83951:2008)
AGRESIVIDAD. VALOR DE PH (UNE 83952:2008)
AGRESIVIDAD. CO₂ AGRESIVO (UNE-EN 13577:2008)
AGRESIVIDAD. IÓN AMONIO (UNE 83954:2008)
AGRESIVIDAD. IÓN MAGNESIO (UNE 83955:2008)
AGRESIVIDAD. RESIDUO SECO (UNE 83957:2008)

NºEXPEDIENTE	02.14/AG02	ORDEN Nº	-
PETICIONARIO	UTE Calzas Anchas	DIRECCIÓN	Utrera
OBRA	Encauz. Arroyo Calzas Anchas	CÓDIGO OBRA	02.14
MUESTRA	Agua	FECHA TOMA	18/02/14
LOCALIZACIÓN	Obra de paso 3	PROCEDENCIA	-
LOTE	-	ACTIVIDAD	-

Temperatura de la muestra	23°C
---------------------------	------

RESULTADOS

Determinación del pH	7,3
Contenido en CO ₂ (mg/l)	12
Concentración de amonio (mg/l)	6
Concentración del ión magnesio (mg/l)	78
Contenido en sulfato SO ₄ ²⁻ (mg/l)	159
Residuo seco (mg/l)	2494
Contenido en cloruro Cl ⁻ (mg/l)	888
Contenido en nitrato NO ₃ ⁻ (mg/l)	65



Nº DE TRABAJO : 6/2407/006/248.

PETICIONARIO : ANDALUZA DE MORTEROS, S.A.

OBRA: CONTROL INTERNO ANDEMOSA DOS HERMANAS.

ANÁLISIS QUÍMICO DE AGUA DE AMASADO DE HORMIGONES.

1.- MATERIALES.

Con fecha 17 de Marzo de 2009, personal de CEMOSA toma en la planta de hormigones de ANDALUZA DE MORTEROS, S.A. en Dos Hermanas una muestra de agua para amasado de hormigones, de referencias:

R/L: 2902769.

PROCEDENCIA: RECICLADOR.

2.- TRABAJO REALIZADO.

Se han realizado los siguientes trabajos de laboratorio:

- Exponente de hidrógeno (UNE 7234).
- Sustancias disueltas (UNE 7130).
- Sulfatos expresados en $\text{SO}_4^{=}$ (UNE 7131).
- Ión cloro (UNE 7178).
- Hidratos de Carbono (UNE 7132).
- Sustancias orgánicas solubles en éter (UNE 7235).

**3.- RESULTADOS.**

Los resultados obtenidos son los siguientes:

COMPONENTES	RESULTADO	ESPECIFICACIONES EHE
Exponente de hidrógeno (pH)	8,0	≥ 5
Sustancias disueltas (g/l)	1,26	≤ 15
Sulfatos expresados en SO_4^{2-} (g/l)	0,34	≤ 1
Ión cloruro (Cl^-) (g/l)	0,58	≤ 1 (Para hormigón pretensado)
		≤ 3 (Para hormigón armado)
Hidratos de carbono (g/l)	No Contiene	0
Sustancias orgánicas solubles en éter (g/l)	No Contiene	≤ 15

- Con respecto al contenido en ion cloruro se tendrá en cuenta lo prescrito en el apartado 30.1 de la instrucción EHE.